T.C.
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI

MOTORLU ARAÇLAR TEKNOLOJİSİ

MOTOR ÇEVRİMLERİ VE YAKITLAR

Ankara, 2013

- Bu modül, mesleki ve teknik eğitim okul/kurumlarında uygulanan Çerçeve Öğretim Programlarında yer alan yeterlikleri kazandırmaya yönelik olarak öğrencilere rehberlik etmek amacıyla hazırlanmış bireysel öğrenme materyalidir.
- Millî Eğitim Bakanlığınca ücretsiz olarak verilmiştir.
- PARA İLE SATILMAZ.

İÇİNDEKİLER

AÇIKLAMALAR iv
GİRİŞ 1
ÖĞRENME FAALİYETİ-1 3
1. PİSTONLU İÇTEN YANMALI MOTORLAR 3
1.1. Teorik Otto Çevrimi 3
1.1.1. İzantropik Sıkıştırma 4
1.1.2. Sabit Hacimde Isı Verilmesi 6
1.1.3. İzantropik Genleşme 7
1.1.4. Sabit Hacimde Soğutma 7
1.2. Teorik Otto Çevrimi Verimi 8
1.3. Teorik Otto Çevrimi Ortalama Efektif Basıncı ve Gücü 9
UYGULAMA FAALİYETİ 10
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 16
ÖĞRENME FAALİYETİ-2 18
2. PRATİK OTTO ÇEVRİMİ 18
2.1.Teorik Otto Çevrimiyle Arasındaki Farklar 18
2.2. Politropik Sıkıştırma 20
2.3. Politropik Genleşme 21
2.4. Pratik Otto Çevrim Verimi 22
UYGULAMA FAALİYETİ 24
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 28
ÖĞRENME FAALİYETİ-3 30
3. TEORİK DİZEL ÇEVRİMİ 30
3.1. İzantropik Sıkıştırma 31
3.2. Sabit Basınçta Yanma 32
3.3. İzantropik Genleşme 33
3.4. Sabit Hacimde Soğutma 33
3.5. Teorik Dizel Çevrimi Termik Verimi 34
3.6. Teorik Dizel Çevrimi Ortalama Efektif Basınç ve Güç 35
UYGULAMA FAALİYETİ 36
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 42
ÖĞRENME FAALİYETİ-4 44
4. PRATİK DİZEL ÇEVRİMİ 44
4.1. Teorik Dizel Çevrimiyle Arasındaki Farklar 44
4.1.1. Emme Zamanı 44
4.1.2. Sıkıştırma Zamanı 45
4.1.3. Püskürtme (İş) Zamanı 45
4.1.4. Egzoz Zamanı 46
4.2. Politropik Sıkıştırma 46
4.3. Politropik Genleşme 47
4.4. Pratik Dizel Çevrimi Verimi 48
UYGULAMA FAALİYETİ 50
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 54
ÖĞRENME FAALİYETİ-5 56
5. TEORİK KARMA ÇEVRİM 56
5.1. Teorik Karma Çevrimde P-V ve T-S Diyagramları 56

5.2. İzantropik Sıkıştırma 57
5.3. Sabit Hacimde Isı Verilmesi 58
5.4. Sabit Basınçta Isı Verilmesi 59
5.5. İzantropik Genleşme 59
5.6. Sabit Hacimde Soğutma 60
5.7. Teorik Karma Çevrim Verimi 60
5.8. Teorik Karma Çevrim Ortalama Efektif Basınç ve Gücü 62
UYGULAMA FAALİYETİ 63
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 66
ÖĞRENME FAALİYETİ-6 68
6. PRATİK KARMA ÇEVRİM 68
6.1. Teorik Karma Çevrimi ile Arasındaki Farklar 68
6.1.1. Yanma Süresi 68
6.1.2. Homojen Olmayan Karışım 70
6.1.3. Gaz Kaçakları 70
6.1.4. Özgül Isıların Değişimi 70
6.1.5. Art Gazların Etkisi 70
6.1.6. Isıl Parçalanma 71
6.1.7. Pompalama Kayıpları 71
6.1.8. Isı Kayıpları 71
6.2. Politropik Sıkıştırma 71
6.3. Yanma Sonu 72
6.4. Politropik Genleşme 73
6.5. Pratik Karma Çevrim Verimi 73
6.6. Ortalama Efektif Basınç ve Güç 74
UYGULAMA FAALİYETİ 75
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 79
ÖĞRENME FAALİYETİ-7 81
7. HİDROKARBONLAR 81
7.1. Tanımı 81
7.2. Çeşitleri ve Özellikleri 82
7.2.1. Alkanlar (Parafinler) C_nH_{2n+2} 82
7.2.2. Alkenler(Olefinler) C_nH_{2n}, C_nH_{2n-2} 84
7.2.3. Naftenler (Sikloparafinler, Siklonlar) C_nH_{2n} 85
7.2.4. Aromatikler (Benzen Türevleri) C_nH_{2n-6} 86
UYGULAMA FAALİYETİ 88
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 89
ÖĞRENME FAALİYETİ-8 90
8. BENZİN 90
8.1. Tanımı 90
8.2. Tarihçesi 90
8.3. Yapısı 90
8.4. Benzinde Aranan Özellikler 91
8.4.1. Soğuk Havalarda İlk Hareket ve Uçuculuk 91
8.4.2. Buhar Tamponunu Önleme 92
8.4.3. Motorun Ani Güç Değişimini Karşılanması 92
8.4.4. Ekonomiklik 92

8.4.5. Reçine Oluşumu (Zamk ve Vernik) 92
8.4.6. Korozyon 92
8.4.7. Yağlama Yağına Etkisi 93
8.4.8. Vuruntu Dayanımı 93
8.5 Benzine Katılan Katkılar 93
8.5.1. Oktan Sayısını Artırıcı Katıklar 93
8.5.2. Diğer Katkılar 94
8.6. Oktan Sayısı 94
8.7. Vuruntu (Detanasyon) 95
8.7.1. Tanımı 95
8.7.2. Motora Etkisi 97
8.7.3. Vuruntunun Önlenmesi 97
8.8. Erken Ateşleme 98
8.8.1. Tanımı 98
8.8.2. Motora Etkisi 98
8.8.3. Vuruntunun Önlenmesi 98
UYGULAMA FAALİYETİ 99
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 100
ÖĞRENME FAALİYETİ-9 101
9. MOTORİN 101
9.1. Tanımı 101
9.2. Yapısı ve Özellikleri 101
9.3. Motorinde Aranan Özellikler 102
9.4. Motorine Katılan Katıklar 104
9.5. Tutuşabilirlik ve Setan Sayısı 104
UYGULAMA FAALİYETİ 107
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 108
ÖĞRENME FAALİYETİ-10 109
10. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANILAN DİĞER YAKITLAR 109
10.1. Doğal Gaz 110
10.1.1. Tanımı 110
10.1.2. Özellikleri ve Katılan Katıklar 110
10.2. LPG (Likit Petrol Gazı) 111
10.2.1. Tanımı 111
10.2.2. Özellikleri ve Katılan Katıklar 111
10.3. Diğer Yakıtlar 114
10.3.1. Hidrojen 114
10.3.2. Alkoller 114
10.3.3. Bitkisel Yağ Esterleri 115
UYGULAMA FAALİYETİ 116
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 117
MODÜL DEĞERLENDİRME 118
CEVAP ANAHTARLARI 120
KAYNAKÇA 129

AÇIKLAMALAR

ALAN	**Otomotiv Teknolojisi Alanı**
DAL/MESLEK	**Otomotiv Elektromekanik, İş Makineleri**
MODÜLÜN ADI	**Motor Çevrimleri ve Yakıtlar**
MODÜLÜN TANIMI	Pistonlu içten yanmalı motor çevrimlerinin, teorik ve pratik termodinamik hesaplamaları ile bu motorlarda kullanılan yakıtların özellikleri ve motor performansına etkileri hakkında bilgi ve becerilerin kazandırıldığı bir öğrenme materyalidir.
SÜRE	40/32
ÖN KOŞUL	Ön koşulu yoktur.
YETERLİK	Motor çevrimleri ve yakıtlarla ilgili uygulamaları ve hesaplamaları yapmak
MODÜLÜN AMACI	**Genel Amaç** Bu modül ile gerekli ortam sağlandığında; standart süre içerisinde birim, sembol standartlar ile termodinamik kanunlara uygun olarak Otto çevrimi, dizel çevrimi, karma çevrim ve Brayton çevrimi ile ilgili hesaplamaları yapabilecek bunlarla ilgili diyagramları kullanabilecek ve motorlarda kullanılan yakıtların özelliklerini tespit edebileceksiniz. **Amaçlar** **1.** Teorik Otto çevrimi ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz. **2.** Pratik Otto çevrimi ile ilgili hesaplamaları, yapabileceksiniz. **3.** Teorik dizel çevrimi ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz. **4.** Pratik dizel çevrimi ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz. **5.** Teorik karma çevrim ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz. **6.** Pratik karma çevrim ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz. **7.** Hidrokarbonların özelliklerini tespit edebileceksiniz. **8.** Benzinin özelliklerini tespit edebileceksiniz. **9.** Motorinin özelliklerini tespit edebileceksiniz. **10.** İçten yanmalı motorlarda kullanılan diğer yakıtların özelliklerini tespit edebileceksiniz.
EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI	**Donanım:** Bilimsel hesap makinesi, benzin, motorin, LPG, doğal gaz **Ortam:** Derslik, kimya laboratuvarı
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	Modül içinde yer alan her öğrenme faaliyetinden sonra verilen ölçme araçları ile kendinizi değerlendireceksiniz. Öğretmen modül sonunda ölçme aracı kullanarak modül uygulamaları ile kazandığınız bilgi ve becerileri ölçerek sizi değerlendirecektir.

GİRİŞ

Sevgili Öğrenci,

İnsanlığın en önemli buluşlarından biri olan motorlar, günümüzde hayatımızın ayrılmaz birer parçası hâlini almıştır. Dünyada en yaygın olarak kullanılan motorlar içten yanmalı, pistonlu motorlardır. 1800'lü yılların sonlarına doğru kullanılmaya başlayan ve kullanımı hızla artan pistonlu içten yanmalı motorlar, hızla gelişmiş ve günümüzde de gelişimini devam ettirmektedir. Pistonlu içten yanmalı motorlardaki bütün gelişmelere rağmen bu motorların temel çalışma prensipleri değişmemiştir.

Otomotiv alanında kullanılan pistonlu içten yanmalı motorlar ideal olarak Otto çevrimi, dizel çevrimi (Diesel), karma çevrime (seiliger) göre çalışmaktadır. Motorlar, kullanım amacı ve yerlerine göre bu çevrimlerden birisi tercih edilerek imal edilmektedir.

İyi bir otomotiv elektromekanikeri olabilmek için motorlarda termodinamik olayların akışını; bu olaylar sırasında ısı, sıcaklık, basınç ve hacim gibi temel parametrelerde meydana gelen değişimleri; bu parametrelerin ve değişimlerin hesaplanmasını, standart birim ve sembollerini ve bu motorlarda kullanılan yakıtların özelliklerini ve yakıtların motor performansına etkilerini bilmek sizlere büyük katkılar sağlayacaktır. Bu avantaj sizleri günümüz rekabet ortamında bir adım daha ileriye taşıyacaktır.

Modülü başarı ile tamamladığınız takdirde, otto, dizel ve karma çevrimin teorik ve pratik hesaplamalarını yapabilecek, sonuçları standart birim sembolleri ile ifade edebilecek ve bu motorlarda kullanılan yakıtların sahip olmaları gereken özellikleri ve yakıtların motor performanslarına etkilerini bileceksiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ–1

AMAÇ

Teorik otto çevrimi ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Dört ve iki zamanlı otto motorlarda, zamanların meydana gelişini araştırınız.
- Isı, sıcaklık, iş, güç, basınç, hacim, tork kavramlarını ve birimlerini araştırınız.
- Bilimsel hesap makinesi ile üslü sayılarda işlemlerin nasıl yapıldığını araştırınız.

1. PİSTONLU İÇTEN YANMALI MOTORLAR

Günümüzde en yaygın olarak kullanılan motorlardır. Pistonlu içten yanmalı motorları özelliklerine göre birçok alanda sınıflandırmak mümkündür (çalışma prensiplerine, termodinamik çevrimlerine, karışım oluşumuna, silindir tertip tarzına, soğutma sistemine, yağlama sistemine, ilk hareket sistemine, yakıtlarına gibi).

Pistonlu içten yanmalı motorlar termodinamik çevrimlerine göre;

- Otto çevrimi (buji ile ateşlemeli ‘benzinli’ motorlar)
- Dizel çevrimi (sıkıştırma ile ateşlemeli ‘dizel’ motorlar)
- Karma çevrim
- olmak üzere üçe ayrılır.

1.1. Teorik Otto Çevrimi

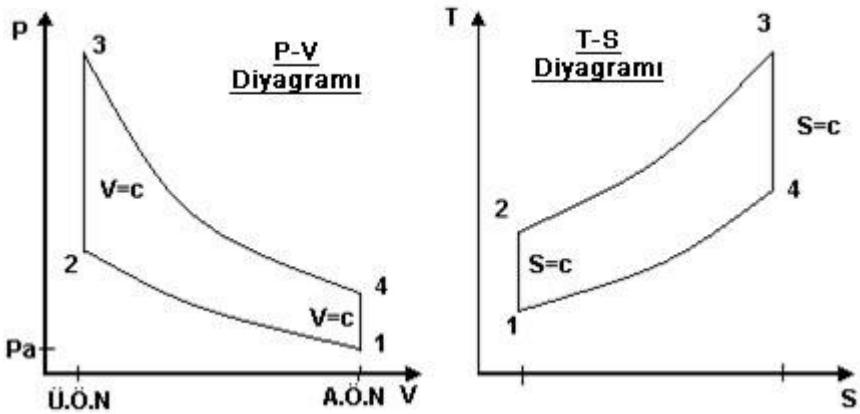
Gerçek motor çalışmasında yanma işlemi motor silindirinde gerçekleşir. Yanma sonu açığa çıkan ısı enerjisi mekanik enerjiye dönüşür. Motorun çalışması esnasında emme, sıkıştırma, iş ve egzoz zamanları meydana gelir. Teorik otto çevriminde ise silindirin içerisinde ısı geçişlerini sağlayan bir aracı akışkan bulunur. Bu aracı akışkan ideal gaz kabul edilen havadır. Silindirin içerisinde bulunan hava dış bir ısı kaynağı tarafından ısıtılır. Teorik otto çevrimi iki sabit hacim ve iki izantropik (adyabatik) işlemden meydana gelir.

Bütün teorik hava standart güç çevrimleri (otto, dizel, karma) için aşağıdaki kabuller yapılır:

- Çevrimde kullanılan gaz, ideal gaz olarak kabul edilen havadır.
- Çevrimde kullanılan çalışma gazının (havanın) kütlesi sabittir ve çevrim boyunca değişmez.
- Sıkıştırma ve genleşme işlemlerinde sistemle çevre arsında ısı alışverişi yoktur. Yani sıkıştırma ve genleşme işlemleri izantropiktir (adyabatik).
- İdeal gaz kabul edilen havanın ısı kapasitesinin (özgül ısılarının) sıcaklıkla değişmediği kabul edilir.
- Yanma işleminin yerini dış kaynaktan ısı geçişi, egzoz işleminin yerini de dış kaynağa ısı geçişi alır.
- Çevrimi oluşturan hâl değişimlerinin tümü içten tersinirdir.

Basit olarak ideal gazlar $P \times V = m \times R \times T$ eşitliğine uyan gazlardır. Burada P basınç, V hacim, m kütle, R gaz sabiti ve T sıcaklıktır.

Bu kabullerden sonra teorik otto çevrimini, Şekil 1.1'deki P-V ve T-S diyagramlarından faydalanarak basitçe şöyle anlatabiliriz: Çalışma maddesi (ideal gaz, gerçekte yakıt hava karışımı), 1 noktasından 2 noktasına kadar izantropik olarak sıkıştırılır. Sıkıştırma sonunda çalışma maddesinin basıncı ve sıcaklığı artar. 2 noktasından 3 noktasına kadar çalışma maddesine sabit hacimde dışarıdan ısı verilir. Böylece basınç ve sıcaklık tekrar artar. 3 noktasında basınç ve sıcaklık maksimum değerlerine ulaşır. 3 noktasından, 4 noktasına kadar basıncın etkisi ile silindirdeki piston aşağıya doğru itilir bu genleşme izantropik bir genleşmedir. 4 noktasından 1 noktasına kadar sabit hacimde çalışma maddesinden dışarıya ısı atılır ve 1 noktasında sistem, en baştaki koşullarına döner ve çevrim tamamlanır. T-S diyagramı üzerinde S entropiyi temsil eder ve izantropik bir işlemde entropi sabittir.



Şekil 1.1: Teorik otto çevrimi P-V ve T-S diyagramları

1.1.1. İzantropik Sıkıştırma

Teorik otto çevriminde 1 noktasındaki çalışma maddesi 2 noktasına kadar izantropik olarak sıkıştırılır. 1 noktasında karışımın sıcaklığı T_1 ve basıncı P_1dir 2 noktasında sıcaklık T_2ye basınç ise P_2ye çıkacaktır (Şekil 1.1). Bu esnada piston dış bir kuvvet tarafından itilir.

İzantropik hâl değişimlerinde ısı transferi olmadığını belirtmiştik. İdeal gaz denkleminden gerekli sadeleştirmeler ve hesaplamalar yapılarak aşağıdaki bağıntılar yazılabilir:

$$P_1 \times V_1^k = P_2 \times V_2^k \tag{1.1}$$

buradan,

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1^k}{V_2^k} \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k \tag{1.2}$$

elde edilir. Burada V1 silindir hacmini, V2 yanma odası hacmini ifade etmektedir.

Sıkıştırma oranı:

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} \tag{1.3}$$

olduğundan 1.2 numaralı denklemde V1/V2 yerine ε yazılırsa yeni denklemimiz

$$\frac{P_2}{P_1} = \varepsilon^k \Rightarrow P_2 = P_1 \times \varepsilon^k \tag{1.4}$$

elde edilir. T2 sıcaklığı için

$$T_1 \times V_1^{k-1} = T_2 \times V_2^{k-1} \tag{1.5}$$

buradan,

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{V_1^{k-1}}{V_2^{k-1}} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} \tag{1.6}$$

olur. 1.6 numaralı denklemde V1/V2 yerine ε yazılırsa yeni denklemimiz;

$$\frac{T_2}{T_1} = \varepsilon^{k-1} \Rightarrow T_2 = T_1 \times \varepsilon^{k-1} \tag{1.7}$$

bulunur. Ayrıca 1 ve 2 noktaları arasında T ve P ilişkisini

$$P_1^{1/k-1} \times T_2 = P_2^{1/k-1} \times T_1 \tag{1.8}$$

denklemi ile ifade ederiz.

Bu denklemler kullanılarak izantropik sıkıştırma sonu sıcaklık ve basınç değerleri hesaplanır. Burada "k" izantropik durum değiştirmede kullanılan bir katsayıdır ve sabit basınçtaki özgül ısının, sabit hacimdeki özgül ısıya oranıdır.

$$k = \frac{c_p}{c_v} \qquad (1.9)$$

1.9 numaralı denklemde, çevrimde kullanılan maddenin ideal bir gaz olarak kabul edilen hava olmasından dolayı özgül ısıları sabit basınç özgül ısısı cp=1.005 kJ/kgK, sabit hacim özgül ısısı cv=0.718 kJ/kgK olarak tablolardan bulunur ve denklemde değerler yerlerine konursa

$$k = \frac{c_p}{c_v} \Rightarrow k = \frac{1.005}{0.718} \Rightarrow k = 1.4$$

olarak bulunur.

Yapılacak hesaplamalarda, parametrelerin birimleri önemlidir. Sıcaklık Kelvin (K), basınç kilopascal (kPa), hacim metreküp (m3), özgül ısı kilojoul/kilogramkelvin (kJ/kgK), ısı kilojoul (kJ), ağırlık kilogram (kg), zaman saniye (sn.), alan metrekare (m2), uzunluk metre (m) olarak kullanılacaktır.

1.1.2. Sabit Hacimde Isı Verilmesi

Teorik Otto çevriminde, 2 noktasındaki çalışma maddesine sabit hacimde ısı verilmek suretiyle çalışma maddesi 3 noktasına kadar ısıtılarak basıncı P_3 ve sıcaklığı T_3 değerlerine yükseltilir (Şekil 1.1). Sabit hacimde ısı verilmesi sonucu oluşan P_3 ve sıcaklığı T_3 değerlerine, ideal gaz denkleminden istifade ederek ulaşabiliriz.

$\frac{P_2 \times V_2}{T_2} = \frac{P_3 \times V_3}{T_3} \Rightarrow$ ısı verme işlemi (piston ÜÖN'de iken) sabit hacimde olduğundan V2=V3'tür gerekli sadeleştirme yapılırsa

$$\frac{P_2}{T_2} = \frac{P_3}{T_3} \text{ ve } \qquad \frac{T_3}{T_2} = \frac{P_3}{P_2} \qquad (1.10)$$

burada elde edilen denklem aynı zamanda sabit hacimde basınç artış oranını (r_v) da vermektedir.

$$r_V = \frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2} \qquad (1.11)$$

$$P_3 = r_V \times P_2 \qquad (1.12)$$

$$T_3 = r_V \times T_2 \qquad (1.13)$$

1.1.3. İzantropik Genleşme

Teorik Otto çevriminde 3 noktasındaki çalışma maddesi 4 noktasına kadar izantropik olarak genleştirilir. 3 noktasında karışımın sıcaklığı T_3 ve basıncı P_3 tür, 4 noktasında sıcaklık T_4e basınç ise P_4 e düşecektir (Şekil 1.1). 3-4 noktaları arasında piston, üzerindeki basınç etkisi ile AÖN'ye doğru itilecek ve hâl değişimi boyunca pozitif bir iş elde edilecektir. İzantropik hâl değişimlerinde ısı transferi olmadığını belirtmiştik. İdeal gaz denkleminden gerekli sadeleştirmeler ve hesaplamalar yapılarak aşağıdaki bağıntılara ulaşılır:

$$P_3 \times V_3^k = P_4 \times V_4^k \qquad (1.14)$$

buradan

$$\frac{P_4}{P_3} = \frac{V_3^k}{V_4^k} \Rightarrow P_4 = \frac{P_3}{\varepsilon^k} \qquad (1.15)$$

elde edilir. Burada $V_1 = V_4$ ve $V_2 = V_3$ olduğu unutulmamalıdır.

$$T_3 \times V_3^{k-1} = T_4 \times V_4^{k-1} \qquad (1.16)$$

buradan

$$\frac{T_4}{T_3} = \frac{V_3^{k-1}}{V_4^{k-1}} \Rightarrow T_4 = \frac{T_3}{\varepsilon^{k-1}} \qquad (1.17)$$

ayrıca 3-4 noktaları arasında P ve T arasındaki ilişkiyi,

$$P_3^{1/k-1} \times T_4 = P_4^{1/k-1} \times T_3 \qquad (1.18)$$

denklemi ile ifadelendirebiliriz.

1.1.4. Sabit Hacimde Soğutma

Teorik Otto çevriminde, izantropik genleşmeden sonra çalışma maddesinin sıcaklık ve basıncı, başlangıç noktasındaki sıcaklık ve basınç değerlerinden yüksektir. Çevrimin tersinir olabilmesi için çalışma maddesinin çevrim sonunda başlangıçtaki özelliklerine sahip olması gerektiğinden, sabit hacimde sistemden dışarıya ısı atılarak çalışma maddesi soğutulur ve başlangıçtaki şartlara geri dönüş sağlanmış olur. Burada hacim sabit olacağından genleşme sonu sıcaklık ve basıncı ile başlangıç sıcaklık ve basıncı arasında ideal gaz denklemi kullanılarak aşağıdaki bağıntılar kurulur.

$\frac{P_1 \times V_1}{T_1} = \frac{P_4 \times V_4}{T_4} \Rightarrow$ dış ortama ısı atma işlemi (piston AÖN'de iken) sabit hacimde olduğundan $V_1 = V_4$ tür gerekli sadeleştirme yapılırsa

$$\frac{P_4}{T_4}=\frac{P_1}{T_1} \text{ ve } \qquad \frac{T_4}{T_1}=\frac{P_4}{P_1} \tag{1.19}$$

denklemi elde edilir.

1.2. Teorik Otto Çevrimi Verimi

Herhangi bir makinenin verimi hesaplanırken makineye verilen toplam enerji ve bu enerji karşılığında makineden alınan net iş dikkate alınır. Makineden alınan net işin makineye verilen enerjiye oranı, makinenin verimini ortaya koyar. Hiçbir makinenin verimi % 100 olamaz. Her zaman çeşitli kayıplardan (sürtünme kayıpları, ısı kayıpları gibi) dolayı verim %100'ün altında olacaktır.

Teorik Otto çevriminde sisteme, sabit hacimde ısı verilmekte (Şekil 1.1'de 2-3 noktaları arasında) ve yine sistemden dışarıya ısı sabit hacimde atılmaktadır (Şekil 1.1'de 4-1 noktaları arasında). O hâlde teorik Otto çevrimi verimini bulabilmemiz için sisteme verilen ısıyı ve sistemden atılan ısıyı bulmamız gerekmektedir.

$Q = m \times c \times \Delta T$ denklemini, maddelerde meydana gelen sıcaklık değişimini sağlayan ısıyı hesaplayabilmek için kullanıyoruz. Otto çevriminde de sisteme ısı verildiğinde veya atıldığında sıcaklık değişimi meydana gelmekte idi.

Q ısıyı, m madde miktarını, c ise maddenin özgül ısısını ifade ederken ΔT sıcaklık farkını belirtmektedir. Denklemi Otto çevrimine göre düzenlersek çevrime verilen ısıyı,

$Q_{in} = m \times c_v \times \Delta T$ buluruz. Buradan, sıcaklık değişiminin T2den T3e olduğunu biliyoruz.

$$Q_{in} = m \times c_v \times (T_3 - T_2) \tag{1.20}$$

elde edilir. Sistemden atılan ısı;

$Q_{OUT} = m \times c_v \times \Delta T$, buradan sıcaklık değişiminin T4ten T1e olduğunu biliyoruz.

$$Q_{OUT} = m \times c_v \times (T_4 - T_1) \tag{1.21}$$

Net işinde sisteme sürülen ısıdan sistemden atılan ısının farkı olduğunu biliyoruz.

$$W_{net} = Q_{in} - Q_{out} \tag{1.22}$$

Şimdi sisteme verilen ısıyı ve sistemden elde edilen net işi bildiğimize göre sistemimizin ısıl verimini aşağıdaki gibi hesaplayabiliriz:

$$\eta = \frac{W_{net}}{Q_{in}} \Rightarrow \eta = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \tag{1.23}$$

Verim denklemini sisteme verilen ve sistemden atılan ısıların değerlerini yerine yazarak sadeleştirirsek

$$\eta = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{m \times c_v \times (T_4 - T_1)}{m \times c_v \times (T_3 - T_2)} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{T_1(T_4/T_1 - 1)}{T_2(T_3/T_2 - 1)}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \qquad (1.24)$$

denklemi elde edilir. Burada maddenin ağırlığı ve özgül ısıları sabit olduğundan sadeleştirilmişlerdir. Ayrıca kesrin payı T1, paydası T2 parantezine alınmıştır. Pay ve paydanın parantez içindeki ifadelerinin, daha önceki denklemler incelenerek eşit olduğu görülmüş ve sadeleştirilmişlerdir. T1/ T2 ifadesi yerine 1.7 numaralı denklem yazılmış ve verim sıkıştırma oranına bağlı olarak hesaplanabilecek duruma getirilmiştir.

1.3. Teorik Otto Çevrimi Ortalama Efektif Basıncı ve Gücü

Teorik Otto çevriminin ortalama efektif basıncı, pistonun kurs boyunca üzerine etki eden ortalama basıncı ifade etmektedir. Pe ile ifade edilir ve elde edilen net işin kurs hacmine bölünmesiyle bulunur.

$$P_e = \frac{W_{net}}{V_H} \qquad (1.25)$$

Burada, Pe ortalama efektif basıncı kPa, Wnet yapılan net işi kJ, VH kurs hacmini m olarak göstermektedir.

Teorik Otto çevrimine göre çalışan bir motorun gücünü aşağıdaki denklemi kullanarak hesaplayabiliriz.

$$N = \frac{W_{net} \times n \times z}{60 \times i} \qquad (1.26)$$

Bu denklemde; N gücü kW olarak n motorun dakikadaki devir sayısını devir/dakika olarak vermektedir. 60 sabit sayısı dakikanın saniyeye çevrilmesi için kullanılmıştır, i sayısı ise dört zamanlı motorlarda 2, iki zamanlı motorlarda 1 olarak alınır.

Buraya kadar teorik Otto çevriminde kritik noktaların basınç, sıcaklık ve hacimlerinin, çevrim veriminin, ortalama efektif basıncın ve gücün hesaplanabilmesi için gereken denklemleri öğrendik. Bununla birlikte teorik Otto çevrimi P-V ve T-S diyagramlarını da incelemiş olduk. Artık problem çözmeye ve diyagram çizmeye hazırız.

UYGULAMA FAALİYETİ

Teorik Otto çevrimi ile ilgili hesaplamaları yapınız.

Tavsiyeler:

Örnek problemler çözülürken öncelikle verilenler birimleri ile birlikte yazılmalı ve birimlerde gerekli çevrimler yapılmalı, daha sonra istenenler yazılarak istenenlerin işlem sırası yani çözüm sıraları incelenmeli ve en uygun çözüm sırası seçildikten sonra çözüme geçilmelidir. Bulunan her sonucun birimi mutlaka belirtilmelidir. Bu sizin problemleri, kavramları daha iyi ve kalıcı bir şekilde öğrenmenizi sağlayacaktır.

Uygulama–1

Teorik Otto çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı 7/1 ve motorda sıkıştırma başlangıcında akışkanın (ideal gaz) sıcaklığı 15.6 ^{0}C, basıncı 1 bar'dır. İzantropik sıkıştırma sonunda akışkanın sıcaklık ve basıncını bulunuz.

Verilenler:

$\varepsilon = 7$

t_1=15.6 °C ise T_1= 273+15.6=288.6 K

P_1=1 bar ise P_1=100000 pa $\left(\frac{N}{m^2}\right)$ ve P_1=100 kPa olur.

İstenler:

P_2 =? ve T_2 =? Burada P_2, 1.3 numaralı denklemden, T_2 ise, 1.4 numaralı denklemden hesaplanabilir.

$$P_2 = P_1 \times \varepsilon^k \Rightarrow P_2 = 100 \times 7^{1.4} \Rightarrow P_2 = 1524.53 \text{ kPa}$$

$$T_2 = T_1 \times \varepsilon^{k-1} \Rightarrow T_2 = 288.6 \times 7^{1.4-1} \Rightarrow T_2 = 628.54 \text{ K olarak bulunur.}$$

Uygulama–2

Teorik Otto çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı 12/1 ve motorda sıkıştırma başlangıcında akışkanın (ideal gaz) mutlak sıcaklığı 298 K, basıncı 100 kPa'dır. İzantropik sıkıştırma sonunda akışkanın sıcaklık ve basıncını bulunuz.

Verilenler:

$\varepsilon = 12$

T_1=298 K

P_1=100 kPa

İstenler.

P_2 =? ve T_2 =? Burada P_2, 1.3 numaralı denklemden, T_2 ise, 1.4 numaralı denklemden hesaplanabilir.

$$P_2 = P_1 \times \varepsilon^k \Rightarrow P_2 = 100 \times 12^{1.4} \Rightarrow P_2 = 3242.30 \text{ kPa}$$

$$T_2 = T_1 \times \varepsilon^{k-1} \Rightarrow T_2 = 298 \times 12^{1.4-1} \Rightarrow T_2 = 805.17 \text{ K}$$

Uygulama–3

Teorik Otto çevrimine göre çalışan bir motorun izantropik sıkıştırma sonrası basıncı 3242 kPa ve mutlak sıcaklığı 805 K'dir. Bu motorun sabit hacimde basınç artma oranı 1.6 ise sabit hacimde ısı verme sonrasında oluşacak basınç ve sıcaklık değerlerini bulunuz.

Verilenler:
P_2=3242 kPa
T_2=805 K
r_v=2.7

İstenenler :
P_3 =? ve T_3 =? Bu değerleri 1.10 ve 1.11 numaralı denklemleri kullanarak bulabiliriz.

$P_3 = r_V \times P_2 \Rightarrow P_3 = 2.7 \times 3242 \Rightarrow P_3 = 8753$ kPa olur.

$T_3 = r_V \times T_2 \Rightarrow T_3 = 2.7 \times 805 \Rightarrow T_3 = 2173.5$ K değerleri bulunur.

Uygulama–4

Teorik Otto çevrimine göre çalışan bir motorun izantropik sıkıştırma sonrası basıncı 1524.53 kPa ve mutlak sıcaklığı 628.54 K'dir. Çevrimin maksimum mutlak sıcaklığı 1923 K olduğuna göre çevrimin maksimum basıncını bulunuz.

Verilenler:
P_2=1524.53 kPa
T_2=628.54 K
T_3=1923 K bu örnekte çevrimin maksimum basınç ve sıcaklıklarının P-V diyagramının 3 noktasında basınç ve sıcaklık değerleri olduğu bilinmelidir (Şekil 1.1).

İstenenler:
P_3=? Bu değeri denklem 1.9'dan bulmamız mümkündür. Bununla birlikte önce r_v değeri bulunduktan sonra 1.12 numaralı denklemden de bulunması mümkündür.

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{P_3}{P_2} \Rightarrow P_3 = P_2 \frac{T_3}{T_2} \Rightarrow P_3 = 1524.54 \frac{1923}{628.54} \Rightarrow P_3 = 4664.27$$ kPa olarak bulunur.

Uygulama–5

Teorik Otto çevrimine göre çalışan bir motorun izantropik genleşme başlangıcında çalışma maddesinin mutlak sıcaklığı 1923 K ve basıncı 4664.27 kPa'dır. Bu motorun sıkıştırma oranı 7/1 olduğuna göre genleşme sonu basınç ve sıcaklıklarını bulunuz.

Verilenler:
P_3=4664.27 kPa
T_3=1650 K

İstenenler:

P_4=? ve T_4=? Genleşme sonu basıncını 1.14 numaralı denklemden, sıcaklığını da 1.18 numaralı denklemden bulabiliriz.

$$P_4 = \frac{P_3}{\varepsilon^k} \Rightarrow P_4 = \frac{4664.27}{7^{1.4}} \Rightarrow P_4 = 305.94 \text{ kPa}$$

$$T_4 = \frac{T_3}{\varepsilon^{k-1}} \Rightarrow T_4 = \frac{1923}{7^{1.4-1}} \Rightarrow T_4 = 882.95 \text{ K olarak bulunur.}$$

Uygulama–6

Teorik Otto çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı 11/1 olduğuna göre bu motorun verimini bulunuz. (k=1.4)

Verilenler:

ε =11 k=1.4

İstenenler:

η = ? verimi verilenleri dikkate alarak 1.23 numaralı denklemden bulabiliriz.

$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{1}{11^{1.4-1}} \Rightarrow \eta = 61.67$$ verim değerlerinin sonuna birimi olarak % işareti genellikle konulmaz. Çünkü bu bir oranıdır. Çıkan sonuç % olarak okunur yani verim % 61.67 dir.

Uygulama–7

Teorik Otto çevrimine göre çalışan 4 zamanlı 4 silindirli bir motorun net işi 0,703 kJ'dür. Bu motorun silindir hacmi $9{,}97 \times 10^{-4}$ m^3 olduğuna göre, ortalama efektif basıncını ve 2400 d/d ürettiği gücü bulunuz.

Verilenler:

z = 4 silindir

n =2400 d/d

i = 2 dört zamanlı

W_{net}=0.703 kJ

V_H=9.97×10^{-4} m^3

İstenenler:

P_e=?

N_e=? Bu verilenlerle ortalama efektif basıncı denklem 1.25'ten ve efektif gücü denklem 1.26'dan hesaplayabiliriz.

$$P_e = \frac{W_{net}}{V_H} \Rightarrow P_e = \frac{0.703}{9.97 \times 10^{-4}} \Rightarrow P_e = 702.1 \text{ kPa,}$$

$$N = \frac{W_{net} \times n \times z}{60 \times i} \Rightarrow N = \frac{0.703 \times 2400 \times 4}{60 \times 2} \Rightarrow N = 56.24 \text{ kW olarak bulunur.}$$

Uygulama–8

Teorik Otto çevrimine göre çalışan bir motorda dört zamanlı, 4 silindirli, silindir çapı 100 mm, kurs boyu 120 mm, sıkıştırma oranı 9/1, sıkıştırma başlangıcında çalışma maddesinin sıcaklığı 22 °C, basıncı 1 bar ve sabit hacimde basınç artma oranı 2.9 olduğuna göre bu motorun

Kritik noktalarda basınç, sıcaklık ve hacimlerini,
Çevrimin verimini ve net işini,
Ortalama efektif basıncını ve 3000 devirde gücünü bulunuz.
P-V ve T-S diyagramlarını çiziniz.
c_v=0.718 kJ/kgK c_p=1.005 kJ/kgK R=0.287 kJ/kgK ve k=1.4'tür.

Verilenler:

z =4
D=100 mm = 0.1 m
L=120 mm =0.12 m
i=2
n=3000 d/d
r_v=2.9
t_1=22 °C T_1= 22+273=295 K
P_1=1 bar= 100000 pa= 100 kPa

Problem incelendiğinde öncelikle kurs ve yanma odası hacminin bulunması gerektiği daha sonra kritik noktalardaki P_2, P_3, T_2, T_3 ve T_4, P_4 değerlerinin bulunması gerektiği, daha sonra çevrim verimi ve net iş için çalışma maddesi ağırlığının ve net işin en son olarak da ortalama efektif basınç ve 3000 devirdeki efektif gücün bulunması gerektiği görülmektedir.

$$V_H = \frac{\pi \times D^2}{4} \times L \Rightarrow V_H = \frac{3.14 \times 0.1^2}{4} \times 0.12 \Rightarrow V_H = 9.42 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\varepsilon = 1 + \frac{V_H}{V_C} \Rightarrow V_C = \frac{V_H}{\varepsilon - 1} \Rightarrow V_C = \frac{9.42 \times 10^{-4}}{9 - 1} \Rightarrow V_C = 1.18 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$V_1=V_H=9.42 \times 10^{-4}$ m^3
$V_2=V_C=1.18 \times 10^{-4}$ m^3

$$P_2 = P_1 \times \varepsilon^k \Rightarrow P_2 = 100 \times 9^{1.4} \Rightarrow P_2 = 2167.4 \text{ kPa}$$

$$T_2 = T_1 \times \varepsilon^{k-1} \Rightarrow T_2 = 295 \times 9^{1.4-1} \Rightarrow T_2 = 710.43 \text{ K}$$

$$P_3 = r_V \times P_2 \Rightarrow P_3 = 2.9 \times 2167.4 \Rightarrow P_3 = 6285.46 \text{ kPa olur.}$$

$$T_3 = r_V \times T_2 \Rightarrow T_3 = 2.9 \times 710.43 \Rightarrow T_3 = 2060.24 \text{ K değerleri bulunur.}$$

$$P_4 = \frac{P_3}{\varepsilon^k} \Rightarrow P_4 = \frac{6285.46}{9^{1.4}} \Rightarrow P_4 = 290 \text{ kPa},$$

$$T_4 = \frac{T_3}{\varepsilon^{k-1}} \Rightarrow T_4 = \frac{2060.24}{9^{1.4-1}} \Rightarrow T_4 = 885.5 \text{ K}$$ çevrimin kritik noktalardaki sıcaklık, hacim ve basınç değerleri bulundu.

$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{1}{9^{1.4-1}} \Rightarrow \eta = 58.47$$ çevrimin verimi % 58.47 şimdi çevrimde kullanılan maddenin ağırlığını ideal gaz denklemini kullanarak

$$P_1 \times V_1 = m \times R \times T_1 \Rightarrow m = \frac{P_1 \times V_1}{R \times T_1} \Rightarrow m = \frac{100 \times 9.42 \times 10^{-4}}{0.287 \times 295} \Rightarrow m = 1.11 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$Q_{in} = m \times c_v \times (T_3 - T_2) \Rightarrow Q_{in} = 1.11 \times 10^{-3} \times 0.718 \times (2060.24 - 710.43) \Rightarrow Q_{in} = 1.076 \text{ kJ}$$

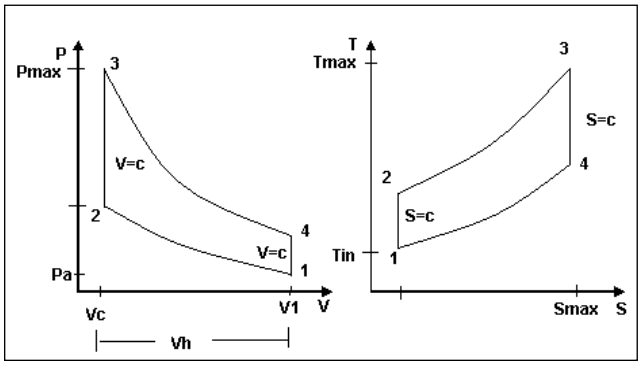
$$Q_{OUT} = m \times c_v \times (T_4 - T_1) \Rightarrow Q_{out} = 1.11 \times 10^{-3} \times 0.718 \times (885.5 - 295) \Rightarrow Q_{out} = 0.47 \text{ kJ}$$

$$W_{net} = Q_{in} - Q_{out} \Rightarrow W_{net} = 1.076 - 0.47 \Rightarrow W_{net} = 0.606$$ kJ net işte bulunduktan sonra

$$P_e = \frac{W_{net}}{V_H} \Rightarrow P_e = \frac{0.606}{9.42 \times 10^{-4}} \Rightarrow P_e = 643.31 \text{ kPa}$$

$$N = \frac{W_{net} \times n \times z}{60 \times i} \Rightarrow N = \frac{0.606 \times 3000 \times 4}{60 \times 2} \Rightarrow N = 60.6 \text{ kW}$$ bulunur.

Çevrimin, teorik Otto çevrimi olduğunu biliyoruz. Diyagramını çizerken öncelikle P ve V eksenlerini çizmeliyiz. Bu eksenler üzerinde, ölçeğine yakın olarak P ve V değerlerini yerleştirdikten sonra 1 ve 2 noktaları arasını izantropik sıkıştırmaya uygun bir eğri ile, 2-3 arasını sabit hacim olduğundan hacim eksenine dik, basınç eksenine paralel olarak 3-4 arasını izantropik genleşmeye uygun bir eğri ile ve son olarak 4-1 noktaları arasını sabit hacim olduğundan hacim eksenine dik, basınç eksenine paralel olarak çizmeliyiz. Çevrim tersinir olduğundan çizimin sonunda başlangıç noktasına gelmemiz gerekmektedir (Şekil 1.2).



Teorik Otto çevrimi P-V ve T-S diyagramları

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. ( ) Teorik Otto çevriminde sistemin net işi, sisteme verilen enerji ile sistemden atılan enerjinin farkına eşittir.

2. ( ) Teorik Otto çevriminde verim, sıkıştırma oranı arttıkça azalır.

3. ( ) Teorik Otto çevriminin verimi her zaman % 100'ün üzerindedir.

4. ( ) Teorik Otto çevriminde sisteme ısı, sabit hacimde verilir.

5. ( ) Teorik Otto çevriminde çalışma maddesinin özgül ısısı sabit kabul edilmektedir.

6. ( ) Teorik Otto çevriminde sıkıştırma ve genleşme politropik olarak gerçekleşmektedir.

7. ( ) Teorik Otto çevriminde, hesaplamalar yapılırken ısı ve iş kJ olarak silindir hacmi m^3 olarak alınır.

8. ( ) Teorik Otto çevriminde, dış ortamla madde alışverişi yapılır.

9. ( ) ( ) Teorik Otto çevriminde, basınç artma oranı sisteme verilen ısı ile doğru orantılıdır.

10. ( ) Teorik Otto çevriminde, çevrimi oluşturan hâl değişimleri içten tersinir değildir.

Aşağıdaki problemleri çözerek sonuçlarını cevap anahtarı ile karşılaştırınız.

11. ( ) Teorik Otto çevrimine göre çalışan 4 zamanlı, 4 silindirli bir motorda silindir çapı 80 mm, kursu 100 mm, sıkıştırma oranı 8/1, sıkıştırma başlangıcında akışkan sıcaklığı 29 °C, basıncı 95 kPa ve çevrimin maksimum sıcaklığı 1750 °C'dir. Bu motorun;

- Kritik noktalarda basınç, sıcaklık ve hacimlerini,
- Çevrimin verimini,
- Çevrimin ortalama efektif basıncını ve 2800 d/d daki efektif gücünü bulunuz.

c_v=0.718 kJ/kgK c_p=1.005 kJ/kgK R=0.287 kJ/kgK ve k=1.4'tür.

12. ( ) Teorik Otto çevrimine göre çalışan bir motor, atmosfer basıncı 100 kPa ve sıcaklığı 35 °C olan bir ortamda çalışmaktadır. Bu motorun sıkıştırma oranı 6/1 olduğuna ve basınç artma oranı 3.2, silindir çapı 50 mm, kursu 65 mm olduğuna göre;

- Kritik noktalarda basınç, sıcaklık ve hacimlerini,
- Çevrimin verimini,
- Çevrimin ortalama efektif basıncını bulunuz.

c_v=0.718 kJ/kgK c_p=1.005 kJ/kgK R=0.287 kJ/kgK ve k=1.4'tür.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ–2

AMAÇ

Pratik Otto çevrimi ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Pompalama kayıplarını araştırınız.
- Volümetrik verimi araştırınız.
- Benzinli motorlarda teorik Otto çevrimi neden uygulanamaz? Araştırınız.
- Benzinli bir motorun çalışması sırasında meydana gelen olayları araştırınız.
- Benzinli motorlarda meydana gelen ısı kaybının nerelerden ve nasıl meydana geldiğini araştırınız.

Araştırmalarınızı, okul kütüphanesi, geçmiş dönemlerdeki ders notlarınızı kullanarak ve bilimsel hesap makinesi kullanan bir işletmeden faydalanarak yapabilirsiniz.

2. PRATİK OTTO ÇEVRİMİ

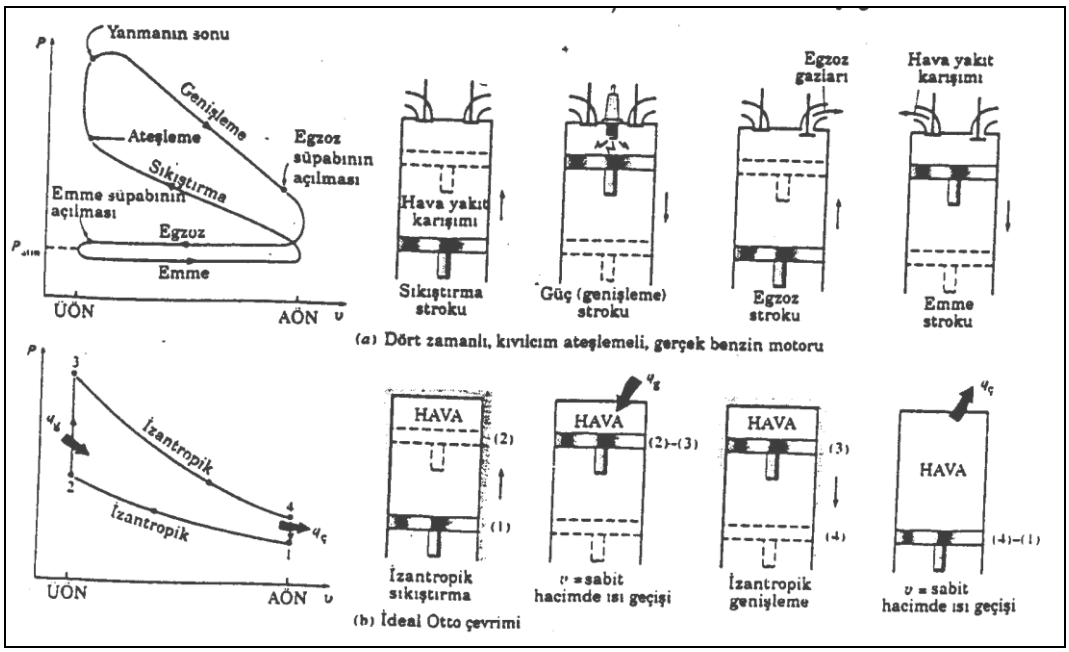
2.1.Teorik Otto Çevrimiyle Arasındaki Farklar

Öncelikle teorik Otto çevrimi, kapalı bir sistemde ve tersinir olarak gerçekleşen bir çevrimdir. Benzinli (buji ile ateşlemeli) motorlarda kullanılan çevrim, temel mantık olarak teorik Otto çevrimini kullanmakla beraber açık bir çevrimdir. Yani dışarıdan madde alışverişi yapılır. Bununla birlikte gerçekte hiçbir çevrim tersinir değildir. Pratik Otto çevriminde, motora alınan karışım ideal gaz olmadığından sıcaklık değişimleri ile özgül ısılar değişmektedir (c_v ve c_p). Özgül ısılardaki bu değişim "k" sabitinin değişmesine neden olmaktadır. Teorik ve pratik Otto çevrimleri arasındaki farkları çevrimlerdeki kritik noktaları (zamanları) dikkate alarak inceleyebiliriz.

Çevrimler arasında mukayese yapılırken Şekil 2.1'deki diyagramlar incelenmeli ve mukayeseler diyagramlar dikkate alınarak yapılmalıdır.

- **Emme zamanı**

Teorik Otto çevriminde zamanından bahsedilmez çünkü sistem kapalı bir sistemdir. Sistemde bulunan çalışma maddesi ideal bir gazdır ve yenilenen her çevrim için madde miktarı sabittir.



Şekil 2.1: Teorik ve pratik Otto çevrimi P-V diyagramları

Pratik Otto çevriminde emme zamanında silindire yakıt hava karışımı alınır ve bu karışım ideal bir gaz değildir. Silindirin kurs, yanma odası ve toplam hacmi her çevrimde sabit olmasına rağmen, farklı miktarlarda karışım emilebilir ve silindir tamamen yeni karışımla dolmaz. Yani, volümetrik verim hiçbir zaman %100 olmaz. Volümetrik verim; pompalama kayıplarından, motor hızından, emme supaplarının açık kalma süresi ve açıklık miktarından, emme supabının kapanma zamanından, silindirde kalan egzoz gazlarının miktarından etkilenmektedir. Bir de emme işlemi sırasında yapılan negatif bir işten bahsetmek gereklidir.

- **Sıkıştırma zamanı**

Teorik Otto çevriminde, sıkıştırma izantropiktir (ısı alış verişi yok) ve sıkıştırma işlemi sırasında sistemden madde azalması olmaz çünkü çevrim kapalıdır. Sıkıştırma AÖN'den başlayıp ÜÖN'ye kadar devam eder.

Pratik Otto çevriminde ise sıkıştırma sırasında silindir cidarlarından ısı kaybı meydana gelir. Sıkıştırma zamanı tam AÖN'de başlayamaz ve tam ÜÖN'de sona ermez. Çünkü emme ve egzoz supapları, ölü noktalarda açılıp kapanmazlar. Sıkıştırma sırasında ne kadar tedbir alınırsa alınsın, mutlaka kaçaklar meydana gelir ve silindirdeki madde miktarı azalır.

- **Ateşleme (iş) zamanı**

Teorik çevrimde, sabit hacimde sisteme ısı verilir ve artan basınç ile sıcaklığın etkisinde kalan piston AÖN'ye doğru yönelir. Buradaki genleşme işlemi izantropik bir genleşmedir. Isı kaybı olmaksızın ve piston AÖN'ye ulaşıncaya kadar devam eden genleşme,

yapılan net işin artmasını sağlar. Sisteme sabit hacimde ısı verildiğinden, ısı verme işlemi ani olur, zaman almaz dolayısıyla elde edilen basınç ve sıcaklık yüksek olacağından verim artar.

Pratik çevrimde sıkıştırılan yakıt, hava karışımı buji ile ateşlenerek yakılır ve sisteme yanma sonucu ısı verilmiş olur. Yanma işlemi 0,001 ile 0,002 saniye civarında bir zamanda tamamlanır. Yakıt hava karışımı, tutuşturulduktan sonra tam olarak yanamaz çünkü karışım her noktasında homojen değildir. Bazı noktalarda yanma için gerekli olan oksijen eksik, bazı noktalarda da yakıt miktarı eksik olabilir. Yanma işleminin kimyasal denklemi hiçbir zaman tam değildir. Pratik çevrimde, sisteme ısı sabit hacimde verilemediğinden yanma sonu basınç ve sıcaklık değerleri torik çevrime nazaran düşük olmaktadır. Sisteme ısı verildikten sonra, piston AÖN'ye hareket ederken de ısı kayıpları meydana geleceğinden net iş düşer. Genleşme işlemi tam olarak AÖN'ye kadar devam etmez. Piston AÖN'ye yaklaşırken egzoz supabı açılır ve yanmış gazların dışarıya atılma işlemi başlar, bu durum da net işin azalmasına neden olur.

- **Egzoz zamanı**

Teorik Otto çevriminde, sistemden ısı atılarak başlangıç noktasına dönülmesi işlemi sabit hacimde ve ani olarak yapılır. Sistemden ısı atılması sonunda çalışma maddesi, tam olarak başlangıç noktasındaki özelliklerine dönmüştür. Teorik çevrimin tam olarak içten tersinir ve kapalı bir sistem olduğu görülüyor.

Pratik Otto çevriminde egzoz gazlarının sistemden atılmasına, AÖN'den önce başlanır ve piston ÜÖN'yi geçince sona erer. Dışarı atılan egzoz gazları, sisteme alınan karışımın özelliklerinden uzaktır. Basınçları ve sıcaklıkları daha yüksektir, kimyasal ve fiziksel olarak da başlangıç özelliklerinden çok farklıdır. Bu durumda da pratik Otto çevrimi, açık ve içten tersinmez bir çevrim olmuş oluyor.

Zamanlarına göre teorik ve pratik Otto çevrimin temel farklarını inceledik. Pratik Otto çevriminde sıkıştırma ve genleşme işlemleri politropik olarak yapılmaktadır. Şimdi, pratik Otto çevriminde kritik noktalardaki değerleri, ortalama efektif basıncı, çevrim verimini ve gücünü nasıl bulacağımızı görelim.

2.2. Politropik Sıkıştırma

Pratik Otto çevriminde silindire alınan karışım, silindirin ve artık egzoz gazlarının sıcaklıklarından dolayı ısınır ve sıcaklığı artar. Sıkıştırma başlangıcında karışım sıcaklığı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$T_1 = (1-f)T_{in} + fT_{ex}\left[1-\left(1-\frac{P_{in}}{P_{ex}}\right)^{k-1/k}\right] \qquad (2.1)$$

Denkleme dikkat edilirse emme ve egzoz basınçları eşit olduğunda köşeli parantezin içi 1'e eşit oluyor ve çarpmada etkisiz olduğundan denklemden çıkarılabilir. Bu denklemde;

T_1: Sıkıştırma başlangıcında karışım sıcaklığını,

f: Silindirde kalan ard gazların kütle oranını yaklaşık olarak (f=0,05),
T_{in}: Karışımın motora giriş sıcaklığını,
P_{in}: Karışımın motora giriş basıncını,
T_{ex}: Egzoz gazları sıcaklığını,
P_{ex}: Egzoz gazları basıncını,
k: Adyabatik üssü ifade etmektedir.

Genel olarak sıkıştırma başlangıcı basıncı emme basıncına çok yakındır. Dolayısıyla sıkıştırma başlangıcı basıncı P_1;

$$P_1 \cong P_{in} \tag{2.2}$$

olarak alınır. Sıkıştırma sonu basıncını P_2;

$$P_2 = P_1 \times \varepsilon^{n_1} \tag{2.3}$$

elde edilir. Sıkıştırma sonu sıcaklığı T_2 ;

$$T_2 = T_1 \times \varepsilon^{n_1 - 1} \tag{2.4}$$

burada

ε: sıkıştırma oranını,
n_1: Sıkıştırmanın politropik üssünü ifade etmektedir.

Hatırlanacağı gibi pratik çevrimde sıkıştırma izantropik değildi. Yapılan deneyler ve hesaplamalar sonucunda Otto çevrimleri için $n_1$in 1,32 ile 1,39 değerleri arsında değiştiği görülmüştür.

2.3. Politropik Genleşme

Pratik Otto çevriminde iş zamanı, karışımın yanması ve genleşme evrelerinden oluşur. Yanma sonu sıcaklık ve basınç değerlerine ulaşabilmemiz için karışımın alt ısıl değerini bilmemiz gereklidir.

Yanma sonu sıcaklık T_3:

$$T_3 = T_2 + \frac{(1-f)q_f}{c_V} \tag{2.5}$$

burada

q_f: karışımın alt ısıl değeridir (kJ/kg), birim kütle için hesaplamalar yapılırken kullanılır. Gerçek çevrimlerde, karışımın yanması sonucu ortaya çıkacak ısı kullanılır. Yanma sonu çevrime verilen gerçek ısı, çevrime alınan karışımın kütlesi ile yakıtın alt ısıl değerinin çarpımından elde edilir.

$r_V = \frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2}$ olduğunu biliyorduk Buradan P_3:

$$P_3 = r_V \times P_2 \quad (2.6)$$

$$T_3 = r_V \times T_2 \quad (2.7)$$

olarak bulunur.

Genleşme sonundaki basınç ve sıcaklık değerleri olan P_4 veT_4 değerlerini;

$$T_4 = \frac{T_3}{\varepsilon^{n_2-1}} \quad (2.8)$$

$$P_4 = \frac{P_3}{\varepsilon^{n_2}} \quad (2.9)$$

denklemlerini kullanarak hesaplayabiliriz.

Burada

n_2: Genleşmenin politropik üssüdür. Benzinli motorlarda 1,25 ile 1,33 arasındadır.

Pratik Otto çevriminin tersinir olmadığı için egzoz gazlarının gerçek basınç ve sıcaklık değerleri, emme karışımı değerlerinden yüksektir. Egzoz gazı sıcaklığı çevrim verimi için önemlidir.

2.4. Pratik Otto Çevrim Verimi

Pratik Otto çevrimi kritik noktalarındaki basınç, sıcaklık değerleri bulunduktan sonra çevrimin verimi için

$\eta_g = \frac{W_{net}}{Q_{in}} \Rightarrow \eta_g = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} \Rightarrow \eta_g = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$ denkleminden gerekli sadeleştirmeler yapılarak

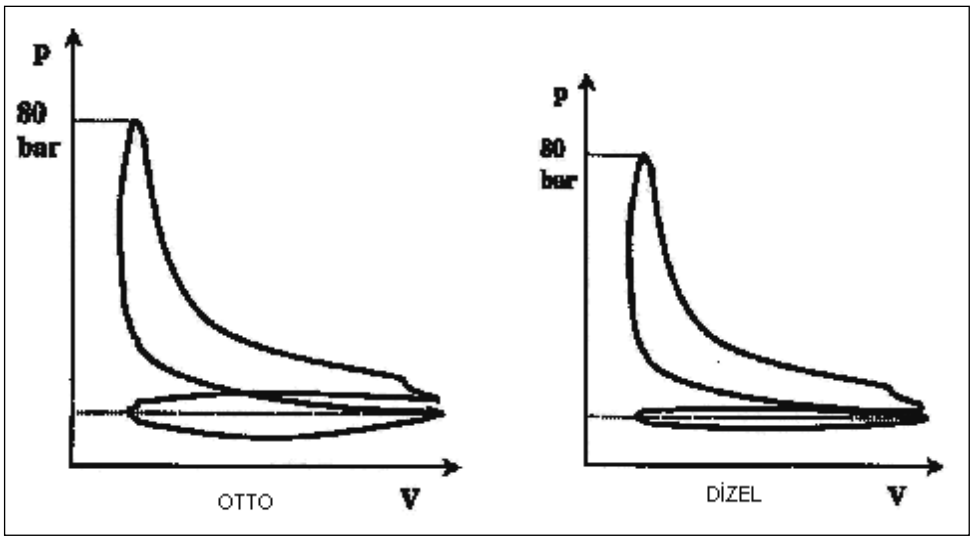
$$\eta_g = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n-1}} \quad (2.10)$$

denklemine ulaşılır.

Burada

η_g: Pratik çevrim verimini,
n: Çevrimin politropik üssünü belirtmektedir.

Hesaplamalar yapıldıktan sonra çevrimin diyagramını çizerken öncelikle P ve V eksenlerini çizmeliyiz. Bu eksenler üzerinde, ölçeğine yakın olarak P ve V değerlerini yerleştirdikten sonra, 1 ve 2 noktaları arasını politropik sıkıştırmaya uygun bir eğri ile 2-3 arasında hacim değiştiğinden bu değişime dikkat ederek yaklaşık hacim eksenine dik, basınç arttıkça hacimdeki artış gösterilerek 3-4 arasını politropik genleşmeye uygun bir eğri ile ve son olarak 4-1 noktaları arasını hacim değişikliğini dikkate alarak çizmeliyiz. Emme ve egzoz eğrileri çizilirken emme basıncının atmosfer basıncına çok yakın fakat atmosfer basıncından daha düşük olduğunu, egzoz basıncının da atmosfer basıncına çok yakın fakat daha yüksek olduğunu dikkate alarak çizmeliyiz. Otto çevriminde emme ve egzoz kayıpları, dizel çevriminden daha fazladır.



Şekil 2.2: Pratik Otto ve dizel çevrimi P-V diyagramı emme ve egzoz kayıpları mukayesesi

UYGULAMA FAALİYETİ

Pratik Otto çevrimi ile ilgili hesaplamaları yapınız.

Tavsiyeler:

Örnek problemlerin çözümünde, öncelikle verilenler birimleri ile birlikte yazılmalı ve birimlerde gerekli çevrimler yapılmalı, daha sonra istenenler yazılarak istenenlerin işlem sırası yani çözüm sıraları incelenmelidir. En uygun çözüm sırası seçildikten sonra çözüme geçilmelidir. Bulunan her sonucun birimi mutlaka belirtilmelidir. Bu sizin, problemleri, kavramları daha iyi ve kalıcı bir şekilde öğrenmenizi sağlayacaktır.

Uygulama 1: Pratik Otto çevrimine göre çalışan bir motorda emme başlangıcında karışımın mutlak sıcaklığı 298 K, basıncı 95 kPa ve artık gazların kütle oranı 0,05 ve egzoz gazlarının mutlak sıcaklığı 765 K ise bu motorun sıkıştırma başlangıç sıcaklığını bulunuz.

Not: Emme başlangıcı basıncı, sıkıştırma başlangıcı basıncı ve egzoz basıncı yaklaşık olarak eşittir.

Verilenler:
T_{in}=298 K
T_{ex}=765 K
P_{in}= P_1= P_{ex}= 95 kPa
f=0,05

İstenenler:
T_1=?
P_{in}= P_1= P_{ex} olduğu için 2.1 numaralı denklem aşağıdaki gibi sadeleşir:

$T_1 = (1-f)T_{in} + fT_{ex}$ verilenler yerine konursa

$T_1 = (1-0{,}05)298 + 0{,}05 \times 765 \Rightarrow T_1 = 321{,}35$ K bulunur.

Uygulama 2. Pratik Otto çevrimine göre çalışan bir motorda egzoz basıncı 95 kPa, artık gazların kütle oranı 0,05 ve sıkıştırma başlangıç mutlak sıcaklığı 321,35 K ve sıkıştırma oranı 10/1 ise bu motorun politropik sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklıklarını bulunuz.

Not: Emme başlangıcı basıncı, sıkıştırma başlangıcı basıncı ve egzoz basıncı yaklaşık olarak eşittir. Sıkıştırmanın politropik üssü 1,35'tir.

Verilenler:
n_1=1,35
T_1=321,35 K
P_{in}= P_1= P_{ex}= 95 kPa
f=0,05

ε=10
İstenenler:
T_2=? ve P_2=?

Pratik Otto çevriminde sıkıştırma politropik olduğundan n_1 kullanılacaktır. 2.3 ve 2.4 numaralı denklemlerden;

$$P_2 = P_1 \times \varepsilon^{n_1} \Rightarrow P_2 = 95 \times 10^{1,35} \Rightarrow P_2 = 2126,78 \text{ kPa}$$

$$T_2 = T_1 \times \varepsilon^{n_1 - 1} \Rightarrow T_2 = 321,35 \times 10^{1,35-1} \Rightarrow T_2 = 719,30 \text{ K}$$

Uygulama 3. Pratik Otto çevrimine göre çalışan bir motorda, sıkıştırma sonu basıncı 2126,78 kPa, mutlak sıcaklığı 719,30 K ve basınç artma oranı 2'dir. Bu motorun maksimum basınç ve sıcaklıklarını bulunuz.

Verilenler:
T_2=719,30 K
P_2= 2126,78 kPa
r_v=2

İstenenler:

T_3=? ve P_3=? çevrimin maksimum basınç ve sıcaklıklarını denklem 2.6 ve 2.7'den bulabiliriz.

$$P_3 = r_V \times P_2 \Rightarrow P_3 = 2 \times 2126,78 \Rightarrow P_3 = 4253,56 \text{ kPa}$$
$$T_3 = r_V \times T_2 \Rightarrow T_3 = 2 \times 719,30 \Rightarrow T_3 = 1438,6 \text{ K olarak bulunur.}$$

Uygulama 4. Pratik Otto çevrimine göre çalışan bir motorda maksimum basınç 4253,56 kPa, mutlak sıcaklık 1438,6 K ve sıkıştırma oranı 10 olduğuna göre bu motorun yanma sonu basınç ve sıcaklıklarını bulunuz. Genişlemenin politropik üssü n_2=1,25 olarak alınacaktır.

Verilenler:

T_3=1438,6 K
P_3= 4253,56 kPa
n_2=1,25
ε=10

İstenenler:

T_4=? ve P_4=?

Pratik Otto çevriminde yanma sonuna, politropik bir genleşme sonrasında ulaşılmaktaydı. Dolayısıyla politropik genleşme işleminin üssü kullanılmalıdır. Yanma sonu basınç ve sıcaklık değerlerine 2.8 ve 2.9 numaralı denklemleri kullanarak ulaşabiliriz.

$$T_4 = \frac{T_3}{\varepsilon^{n_2-1}} \Rightarrow T_4 = \frac{1438,6}{10^{1,23-1}} \Rightarrow T_4 = 808,98 \text{ K}$$

$$P_4 = \frac{P_3}{\varepsilon^{n_2}} \Rightarrow P_4 = \frac{4253,56}{10^{1,25}} \Rightarrow P_4 = 239,19 \text{ kPa elde edilir.}$$

Uygulama 5. Pratik Otto çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı 9/1 ve politropik üssü 1,3 ise verimini hesaplayınız.

Verilenler:

n=1,3

ε=10

İstenenler:

η_g=? Pratik çevrim veriminde politropik üs alınır. Verim 2.10 numaralı denklemden bulunur.

$$\eta_g = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n-1}} \Rightarrow 1 - \frac{1}{9^{1,3}} \Rightarrow \eta_g = 0,4827$$ ve % 48.27 olarak bulunur.

Uygulama 6. Pratik Otto çevrimine göre çalışan bir motorun; sıkıştırma oranı 11/1, emme başlangıcında karışımın mutlak sıcaklığı 300 K, basıncı 97 kpa, sıkıştırmanın politropik üssü 1,33, çevrimin maksimum basıncı 5654 kPa, politropik genleşmenin üssü 1,26, egzoz gazları mutlak sıcaklığı 665 K, ve basıncı 101 kPa, artık gazların kütle oranı 0,05 ve sabit hacimde özgül ısısı 0,880 kJ/kgK ve çevrimin politropik üssü 1,29 ise

Sıkıştırma başlangıcında karışımın basınç ve sıcaklığını,
Politropik sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığını,
Çevrimin maksimum sıcaklığını,
Politropik genleşme sonu basınç ve sıcaklığını,
Çevrimin verimini hesaplayarak P-V diyagramını çiziniz.

Verilenler:
T_{in}=300 K
T_{ex}=665 K
P_{in}=97 kPa
P_{ex}= 101 kPa
P_3= 5654 kPa
f=0,05
n_1=1,33
n_2=1,26
n=1,29
ε=11

c_v=0,880 kJ/kgK

a) Sıkıştırma başlangıcı sıcaklığını 2.1 numaralı denklemden buluruz.

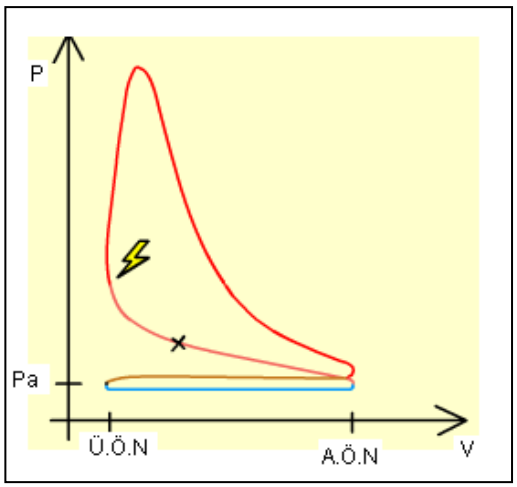
$$T_1 = (1-f)T_{in} + fT_{ex}\left[1-\left(1-\frac{P_{in}}{P_{ex}}\right)^{k-1/k}\right] \Rightarrow T_1 = (1-0{,}05)300 + 0{,}05\times 665\left[1-\left(1-\frac{97}{101}\right)^{1{,}4-1/1{,}4}\right] \Rightarrow$$

T_1=305,03 K ve $P_1 \approx P_{in}$=97 kPa

b) Pratik Otto çevriminde sıkıştırma politropik olduğundan n_1 kullanılacaktır. 2.3 ve 2.4 numaralı denklemlerden;

$$P_2 = P_1 \times \varepsilon^{n_1} \Rightarrow P_2 = 97\times 11^{1{,}33} \Rightarrow P_2 = 2354{,}09 \text{ kPa}$$

$$T_2 = T_1 \times \varepsilon^{n_1-1} \Rightarrow T_2 = 305{,}03\times 11^{1{,}33-1} \Rightarrow T_2 = 674{,}2\ {}^0\text{K}$$



Şekil 2.3: Pratik Otto çevrimi P-V diyagramı

c) Çevrimin maksimum sıcaklığını denklem 2.6 ve 2.7'den bulabiliriz.

$$P_3 = r_V \times P_2 \Rightarrow r_V = P_3 / P_2 \Rightarrow r_V = 5654 / 2354{,}09 \Rightarrow r_V = 2{,}4 \text{ kPa}$$

$T_3 = r_V \times T_2 \Rightarrow T_3 = 2{,}4\times 674{,}2 \Rightarrow T_3 = 1618{,}08\ {}^0$K olarak bulunur.

d) $T_4 = \dfrac{T_3}{\varepsilon^{n_2-1}} \Rightarrow T_4 = \dfrac{1618{,}08}{11^{1{,}26-1}} \Rightarrow T_4 = 867{,}43$ K

$P_4 = \dfrac{P_3}{\varepsilon^{n_2}} \Rightarrow P_4 = \dfrac{5654}{11^{1{,}26}} \Rightarrow P_4 = 275{,}55$ kPa elde edilir.

e) $\eta_g = 1-\dfrac{1}{\varepsilon^{n-1}} \Rightarrow 1-\dfrac{1}{11^{1{,}29}} \Rightarrow \eta_g = 0{,}49{,}8$ olarak bulunur. Şimdi çevrimin P-V diyagramını çizelim.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. ( ) Pratik Otto çevriminde çevrim içten tersinirdir.

2. ( ) Pratik Otto çevriminde verim, sıkıştırma oranına bağlı değildir.

3. ( ) Pratik Otto çevriminin verimi her zaman teorik çevrim veriminden küçüktür.

4. ( ) Pratik Otto çevriminde sisteme ısı sabit hacimde verilir.

5. ( ) Pratik Otto çevriminde çalışma maddesinin özgül ısısı sabit kabul edilmektedir.

6. ( ) Pratik Otto çevriminde sıkıştırma ve genleşme politropik olarak gerçekleşmektedir.

7. ( ) Pratik Otto çevriminde, hesaplamalar yapılırken politropik üsler kullanılır.

8. ( ) Pratik Otto çevriminde, dış ortamla madde alışverişi yapılır.

Aşağıdaki problemleri çözerek sonuçlarını cevap anahtarı ile karşılaştırınız.

9. Pratik Otto çevrimine göre çalışan bir motorun; sıkıştırma oranı 10/1, emme başlangıcında karışımın mutlak sıcaklığı 285 K, basıncı 98 kpa, sıkıştırmanın politropik üssü 1,35, çevrimin maksimum basıncı 5403 kPa, politropik genleşmenin üssü 1,27, egzoz gazlarının mutlak sıcaklığı 760 K, ve basıncı 98 kPa, artık gazların kütle oranı 0,05 ve sabit hacimde özgül ısısı 0,886 kJ/kgK ve çevrimin politropik üssü 1,32 ise

- Sıkıştırma başlangıcında karışımın basınç ve sıcaklığını,
- Politropik sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığını,
- Çevrimin maksimum sıcaklığını,
- Politropik genleşme sonu basınç ve sıcaklığını bulunuz.

10. Pratik Otto çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı 9/1, emme başlangıcında karışımın mutlak sıcaklığı 305 K, basıncı 100 kpa, sıkıştırmanın politropik üssü 1,34,çevrimin maksimum basıncı 4654 kPa, politropik genleşmenin üssü 1,26, egzoz gazları mutlak sıcaklığı 665 K, ve basıncı 100 kPa , artık gazların kütle oranı 0,05 ve sabit hacimde özgül ısısı 0,880 kJ/kgK ve çevrimin politropik üssü 1,29 ise

- Sıkıştırma başlangıcında karışımın basınç ve sıcaklığını,
- Politropik sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığını,
- Çevrimin maksimum sıcaklığını,
- Politropik genleşme sonu basınç ve sıcaklığını bulunuz.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ–3

AMAÇ

Teorik dizel çevrimi ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz.

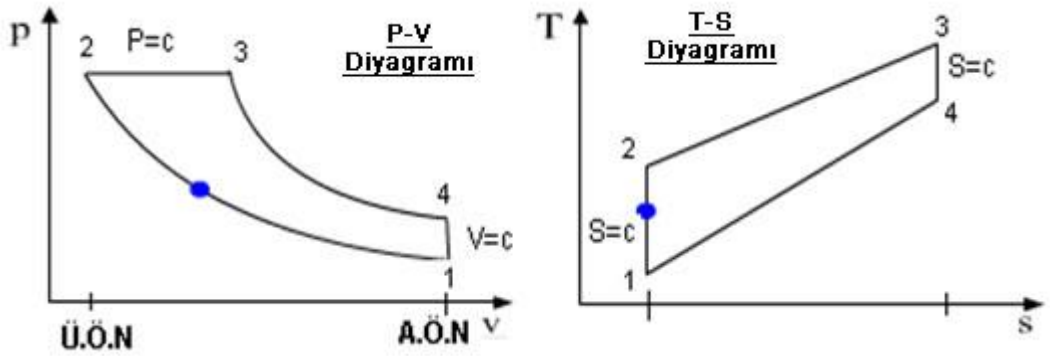
ARAŞTIRMA

- Dört ve iki zamanlı dizel motorlarda zamanların meydana gelişini araştırınız.
- Isı, sıcaklık, iş, güç, basınç, hacim, tork kavramlarını ve birimlerini araştırınız.
- Bilimsel hesap makinesi ile üslü sayılarda işlemlerin nasıl yapıldığını araştırınız.
- Dizel motorların daha yaygın olarak neden ağır yük ve iş makinelerinde kullanıldığını araştırınız.
- Hava standart çevrimlerde yapılan kabulleri araştırınız.

3. TEORİK DİZEL ÇEVRİMİ

Teorik dizel çevriminde sisteme ısı, emme zamanında silindire alınan havaya sıkıştırma zamanı sonunda piston ÜÖN'de iken enjektör tarafından yakıt püskürtülerek verilir. Yanmanın sabit basınçta gerçekleştiği kabul edilir. Öğrenme Faaliyeti 1'de belirtildiği gibi hava standart çevrimler için yapılan kabuller teorik, dizel çevrimi içinde geçerlidir. Öğrenme Faaliyeti 1'den bu kabulleri bir kez daha gözden geçirmenizde fayda var.

Bu kabulleri gözden geçirdikten sonra teorik dizel çevrimini Şekil 3.1'deki P-V ve T-S diyagramlarından faydalanarak basitçe şöyle anlatabiliriz: Çalışma maddesi (ideal gaz, gerçekte hava) 1 noktasından 2 noktasına kadar izantropik olarak sıkıştırılır. Sıkıştırma sonunda çalışma maddesinin basıncı ve sıcaklığı artar. 2 noktasından 3 noktasına kadar çalışma maddesine sabit basınçta dışarıdan ısı verilir ve sıcaklık tekrar artar. 2-3 noktaları arsında sabit basınçta genleşme meydana geldiğinden piston aşağı doğru itilir. 3 noktasında sıcaklık maksimum değerine ulaşır. 3 noktasından 4 noktasına kadar basıncın etkisi ile silindirdeki piston aşağıya doğru itilir bu genleşme izantropik bir genleşmedir. 4 noktasından 1 noktasına kadar sabit hacimde çalışma maddesinden dışarıya ısı atılır ve 1 noktasında sistem en baştaki koşullarına döner ve çevrim tamamlanır.



Şekil 3.1: Teorik dizel çevrimi P-V ve T-S diyagramları

3.1. İzantropik Sıkıştırma

Teorik Otto çevriminde, 1 noktasındaki çalışma maddesi 2 noktasına kadar izantropik olarak sıkıştırılır. 1 noktasında karışımın sıcaklığı T_1 ve basıncı P_1 dir. 2 noktasında sıcaklık T_2 ye basınç ise P_2 ye çıkacaktır (Şekil 3.1). İzantropik hâl değişiminin gerçekleşebilmesi için negatif bir iş yapılmaktadır. İzantropik hâl değişimlerinde ısı transferi olmadığını belirtmiştik. İdeal gaz denkleminden gerekli sadeleştirmeler ve hesaplamalar yapılarak aşağıdaki bağıntılar yazılabilir:

$$P_1 \times V_1^k = P_2 \times V_2^k \qquad (3.1)$$

buradan,

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1^k}{V_2^k} \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k \qquad (3.2)$$

elde edilir. Burada V_1 silindir hacmini, V_2 yanma odası hacmini ifade etmektedir. Sıkıştırma oranı:

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} \qquad (3.3)$$

olduğundan, 1.2 numaralı denklemde V_1/V_2 yerine ε yazılırsa yeni denklemimiz;

$$\frac{P_2}{P_1} = \varepsilon^k \Rightarrow P_2 = P_1 \times \varepsilon^k \qquad (3.4)$$

elde edilir. T_2 sıcaklığı için;

$$T_1 \times V_1^{k-1} = T_2 \times V_2^{k-1} \quad (3.5)$$

buradan,

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{V_1^{k-1}}{V_2^{k-1}} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} \quad (3.6)$$

olur. 1.6 numaralı denklemde V_1/V_2 yerine ε yazılırsa yeni denklemimiz;

$$\frac{T_2}{T_1} = \varepsilon^{k-1} \Rightarrow T_2 = T_1 \times \varepsilon^{k-1} \quad (3.7)$$

bulunur. Ayrıca 1 ve 2 noktaları arasında T ve P ilişkisini

$$P_1^{1/k-1} \times T_2 = P_2^{1/k-1} \times T_1 \quad (3.8)$$

denklemi ile ifade ederiz.

3.2. Sabit Basınçta Yanma

Teorik dizel çevriminde 2 noktasındaki çalışma maddesine, sabit basınçta ısı verilmek suretiyle çalışma maddesi 3 noktasına kadar ısıtılarak hacmi V_3, sıcaklığı T_3 değerlerine yükseltilir (Şekil 3.1). Sabit basınçta ısı verilmesi sonucu oluşan V_3 hacim ve T_3 sıcaklığı değerlerine ideal gaz denkleminden istifade ederek ulaşabiliriz.

$\frac{P_2 \times V_2}{T_2} = \frac{P_3 \times V_3}{T_3} \Rightarrow$ ısı verme işlemi (Piston ÜÖN'de iken başlıyor V_3 hacmine kadar devam ediyor.) sabit basınçta olduğundan $P_2=P_3$ tür gerekli sadeleştirme yapılırsa

$$\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} \text{ ve } \frac{T_3}{T_2} = \frac{V_3}{V_2} \quad (3.9)$$

burada elde edilen denklem aynı zamanda sabit basınçta hacim artış oranını (r_P) vermektedir.

$$r_P = \frac{V_3}{V_2} = \frac{T_3}{T_2} \quad (3.10)$$

$$V_3 = r_P \times V_2 \quad (3.11)$$

$$T_3 = r_P \times T_2 \quad (3.12)$$

3.3. İzantropik Genleşme

Teorik dizel çevriminde 3 noktasındaki çalışma maddesi 4 noktasına kadar izantropik olarak genleştirilir. 3 noktasında karışımın sıcaklığı T_3 ve basıncı P_3tür, 4 noktasında sıcaklık T_4e basınç ise P_4e düşecektir (Şekil 3.1). 3-4 noktaları arasında piston üzerindeki basınç etkisi ile AÖN'ye doğru itilmeye devam edilecek ve hâl değişimi boyunca pozitif bir iş elde edilecektir. İzantropik hâl değişimlerinde ısı transferi olmadığını belirtmiştik. İdeal gaz denkleminden gerekli sadeleştirmeler ve hesaplamalar yapılarak aşağıdaki bağıntılara ulaşılır:

$$P_3 \times V_3^k = P_4 \times V_4^k \tag{3.13}$$

buradan

$$\frac{P_4}{P_3} = \frac{V_3^k}{V_4^k} \tag{3.14}$$

$$T_3 \times V_3^{k-1} = T_4 \times V_4^{k-1} \tag{3.15}$$

buradan

$$\frac{T_4}{T_3} = \frac{V_3^{k-1}}{V_4^{k-1}} \Rightarrow T_4 = T_3\left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1} \tag{3.16}$$

ayrıca 3-4 noktaları arasında P ve T arasındaki ilişkiyi

$$P_3^{1/k-1} \times T_4 = P_4^{1/k-1} \times T_3 \tag{3.17}$$

denklemi ile ifadelendirebiliriz.

3.4. Sabit Hacimde Soğutma

Teorik dizel çevriminde izantropik genleşmeden sonra çalışma maddesinin sıcaklık ve basıncı, başlangıç noktasındaki sıcaklık ve basınç değerlerinden yüksektir. Çevrimin tersinir olabilmesi için çalışma maddesinin çevrim sonunda başlangıçtaki özelliklerine sahip olması gerektiğinden sabit hacimde sistemden dışarıya ısı atılarak çalışma maddesi soğutulur ve başlangıçtaki şartlara geri dönüş sağlanmış olur. Burada hacim sabit olacağından genleşme sonu sıcaklık ve basıncı ile başlangıç sıcaklık ve basıncı arasında ideal gaz denklemi kullanılarak aşağıdaki bağıntılar kurulur:

$\frac{P_1 \times V_1}{T_1} = \frac{P_4 \times V_4}{T_4} \Rightarrow$ dış ortama ısı atma işlemi (piston AÖN'de iken) sabit hacimde olduğundan $V_1=V_4$ tür gerekli sadeleştirme yapılırsa

$$\frac{P_4}{T_4}=\frac{P_1}{T_1} \text{ ve } \qquad \frac{T_4}{T_1}=\frac{P_4}{P_1} \tag{3.18}$$

denklemi elde edilir.

3.5. Teorik Dizel Çevrimi Termik Verimi

Öğrenme Faaliyeti 1'de bir makinenin verimi hesaplanırken makineye verilen toplam enerji ve bu enerji karşılığında makineden alınan net işin dikkate alındığı, makineden alınan net işin makineye verilen enerjiye oranının, makinenin verimini ortaya koyduğu belirtilmişti.

Teorik dizel çevriminde sisteme sabit basınçta ısı verilmekte (Şekil 3.1'de 2-3 noktaları arasında) ve sistemden dışarıya ısı sabit hacimde atılmaktadır (Şekil 3.1'de 4-1 noktaları arasında). O hâlde, teorik dizel çevrim verimini bulabilmemiz için sisteme verilen ısıyı ve sistemden atılan ısıyı bulmamız gerekmektedir.

$$Q_{in}=m\times c_P\times\left(T_3-T_2\right) \tag{3.19}$$

$$Q_{OUT}=m\times c_v\times\left(T_4-T_1\right) \tag{3.20}$$

Net işinde sisteme sürülen ısıdan sistemden atılan ısının farkı olduğunu biliyoruz.

$$W_{net}=Q_{in}-Q_{out} \tag{3.21}$$

Şimdi sisteme verilen ısıyı ve sistemden elde edilen net işi bildiğimize göre sistemimizin ısıl verimini aşağıdaki gibi hesaplayabiliriz:

$$\eta=\frac{W_{net}}{Q_{in}}\Rightarrow\eta=\frac{Q_{in}-Q_{out}}{Q_{in}}\Rightarrow\eta=1-\frac{Q_{out}}{Q_{in}} \tag{3.22}$$

Verim denklemini sisteme verilen ve sistemden atılan ısıların değerlerini yerine yazarak sadeleştirirsek

$$\eta=1-\frac{Q_{out}}{Q_{in}}\Rightarrow\eta=1-\frac{m\times c_V\times\left(T_4-T_1\right)}{m\times c_P\times\left(T_3-T_2\right)}\Rightarrow\eta=1-\frac{\left(T_4-T_1\right)}{k\left(T_3-T_2\right)}\Rightarrow\eta=1-\frac{T_1\left(T_4/T_1-1\right)}{kT_2\left(T_3/T_2-1\right)}$$

$$\eta=1-\frac{T_1\left(r_P^{\,k}-1\right)}{kT_2\left(r_P-1\right)}\Rightarrow\eta=1-\frac{1}{\varepsilon^{k-1}}\left[\frac{r_P^{\,k}-1}{k\left(r_P-1\right)}\right] \tag{3.23}$$

denklemi elde edilir. Burada maddenin ağırlığı m sabit olduğundan sadeleşir, sabit hacimde özgül ısının sabit basınçta özgül ısıya oranı 1/k'dır, Ayrıca kesrin payı T_1, paydası T_2 parantezine alınmıştır. T_1/T_2 ifadesi yerine 1.7 numaralı denklem yazılmıştır. T_4/T_1 ve T_3/T_2 ifadeleri entropi değişimi eşitliğinden, yararlanılarak (s_4-s_1=s_3-s_2 çevrim 1 noktasından

başlayıp tekrar 1 noktasına dönüyor. 1-2 ve 3-4 noktaları arasında izantropik yani sabit entropide hâl değişimi meydana geldiğinden 4-1 ve 3-2 noktalarındaki entropi değişimleri eşit olmak durumundadır.) sadeleştirilmiş ve verim sıkıştırma oranı ile sabit basınçta genleşme oranı cinsinden indirgenerek yazılmıştır.

3.6. Teorik Dizel Çevrimi Ortalama Efektif Basınç ve Güç

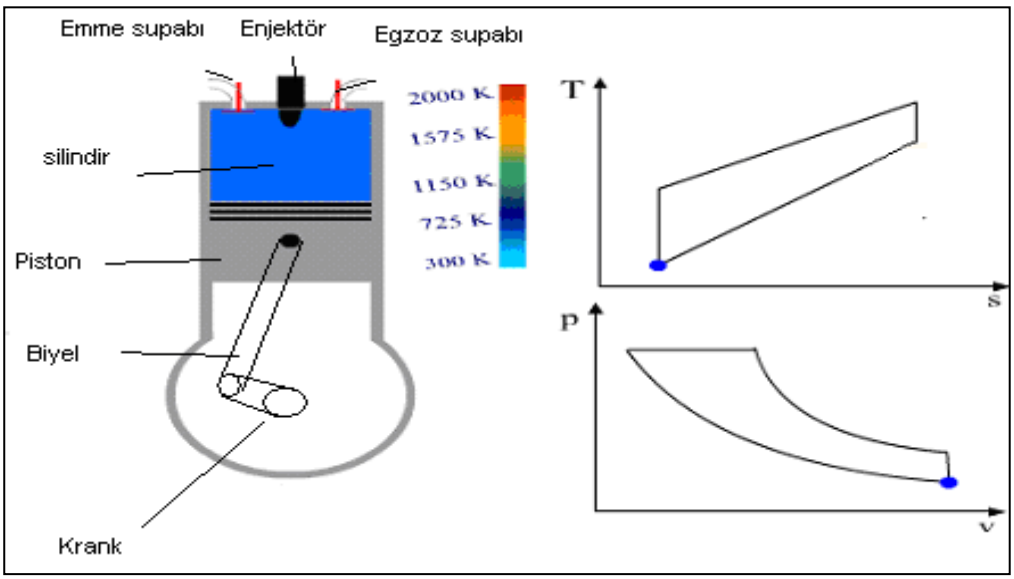
Teorik dizel çevriminin ortalama efektif basıncı, pistonun kurs boyunca üzerine etki eden ortalama basıncı ifade etmektedir. P_e ile ifade edilir, elde edilen net işin kurs hacmine bölünmesiyle bulunur.

$$P_e = \frac{W_{net}}{V_H} \qquad (3.24)$$

Burada, P_e ortalama efektif basıncı kPa, W_{net} yapılan net işi kJ, V_H kurs hacmini m^3 olarak göstermektedir.

$$N_E = \frac{W_{net} \times n \times z}{60 \times i} \qquad (3.25)$$

Bu denklemde N gücü kW olarak n motorun dakikadaki devir sayısını devir/dakika olarak vermektedir. 60 sabit sayısı dakikanın saniyeye çevrilmesi için kullanılmıştır, i sayısı ise dört zamanlı motorlarda 2 (krank milinin iki turunda bir çevrim tamamlandığı için), iki zamanlı motorlarda 1 (krank milinin her turunda bir çevrim tamamlandığı için) olarak alınır.



Şekil 3.2: Dizel motoru

UYGULAMA FAALİYETİ

Teorik dizel çevrimi ile ilgili hesaplamaları yapınız.

Tavsiyeler:

Örnek problemler çözülürken öncelikle verilenler, birimleri ile birlikte yazılmalı ve birimlerde gerekli çevirmeler yapılmalı, daha sonra istenenler yazılarak istenenlerin işlem sırası yani çözüm sıraları incelenmeli ve en uygun çözüm sırası seçildikten sonra çözüme geçilmelidir. Bulunan her sonucun birimi mutlaka belirtilmelidir. Bu sizin problemleri, kavramları daha iyi ve kalıcı bir şekilde öğrenmenizi sağlayacaktır.

Uygulama 1:

Teorik dizel çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı 22/1 ve motorda sıkıştırma başlangıcında akışkanın (ideal gaz) sıcaklığı 15.6 ^{0}C, basıncı 1 bardır. İzantropik sıkıştırma sonunda akışkanın sıcaklık ve basıncını bulunuz.

Verilenler:

ε =22

t_1=15.6 °C ise T_1= 273+15.6=288.6 K

P_1=1 bar ise P_1=100000 pa ve P_1=100 kPa olur.

İstenler:

P_2 =? ve T_2 =? Burada P_2, 1.4 numaralı denklemden, T_2 ise 3.7 numaralı denklemden hesaplanabilir.

$$P_2 = P_1 \times \varepsilon^k \Rightarrow P_2 = 100 \times 22^{1.4} \Rightarrow P_2 = 7575.15 \text{ kPa}$$

$$T_2 = T_1 \times \varepsilon^{k-1} \Rightarrow T_2 = 288.6 \times 22^{1.4-1} \Rightarrow T_2 = 933.72 \text{ K olarak bulunur.}$$

Uygulama 2:

Teorik dizel çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı 18/1 ve motorda sıkıştırma başlangıcında akışkanın (ideal gaz) mutlak sıcaklığı 310 K, basıncı 90 kPa'dır. İzantropik sıkıştırma sonunda akışkanın sıcaklık ve basıncını bulunuz.

Verilenler:

ε =18

T_1=310 K

P_1=95 kPa

İstenler.

P_2 =? ve T_2 =? Burada P_2, 1.4 numaralı denklemden, T_2 ise 3.7 numaralı denklemden hesaplanabilir.

$$P_2 = P_1 \times \varepsilon^k \Rightarrow P_2 = 100 \times 18^{1.4} \Rightarrow P_2 = 5719.80 \text{ kPa}$$

$$T_2 = T_1 \times \varepsilon^{k-1} \Rightarrow T_2 = 310 \times 18^{1.4-1} \Rightarrow T_2 = 985.08 \text{ K}$$

Uygulama 3:

Teorik dizel çevrimine göre çalışan bir motorun izantropik sıkıştırma sonrası basıncı 5200 kPa ve sıcaklığı 900 K'dir. Bu motorun sabit basınçta genleşme oranı 1.7 ve yanma odası hacmi 1.24×10^{-4} m^3 ise sabit basınçta ısı verme sonrasında oluşacak hacim ve sıcaklık değerlerini bulunuz.

Verilenler:

P_2=5200 kPa
T_2=900 K
$V_C=V_2=1.24\times10^{-4}$ m^3
r_P=1.7

İstenenler:

V_3 =? ve T_3 =? .

Bu değerleri 3.11 ve 3.12 numaralı denklemleri kullanarak bulabiliriz.

$V_3 = r_P \times V_2 \Rightarrow V_3 = 1.7\times1.24\times10^{-4} \Rightarrow V_3 = 2.108\times10^{-4}$ m^3 olur.

$T_3 = r_P \times T_2 \Rightarrow T_3 = 1.7\times900 \Rightarrow T_3 = 1530$ K değerleri bulunur.

Uygulama 4:

Teorik dizel çevrimine göre çalışan bir motorun izantropik sıkıştırma sonrası basıncı 4950 kPa ve mutlak sıcaklığı 1010 K ve yanma odası hacmi 1.05×10^{-4} m^3 ve çevrimin maksimum sıcaklığı 1453 K olduğuna göre sabit basınçta genleşme sonu hacmini ve sabit basınçta genleşme oranını bulunuz.

Verilenler:

P_2=4950 kPa
$V_C=V_2=1.05\times10^{-4}$ m^3

T_2=1010 K
T_3=1453 K bu örnekte çevrimin maksimum sıcaklığının P-V diyagramının 3 noktasındaki sıcaklık değerleri olduğu bilinmelidir (Şekil 3.1).

İstenenler:

V_3=?
r_P=? Bu değerleri 1.11 ve 1.12 numaralı denklemleri kullanarak bulabiliriz.

$T_3 = r_P \times T_2 \Rightarrow r_P = T_3 / T_2 \Rightarrow r_P = 1453/1010 \Rightarrow r_P = 1.438$ olarak bulunur.

$V_3 = r_P \times V_2 \Rightarrow V_3 = 1.438\times1.05\times10^{-4} \Rightarrow V_3 = 1.509\times10^{-4}$ m^3

Uygulama 5:

Teorik dizel çevrimine göre çalışan bir motorun izantropik genleşme başlangıcında çalışma maddesi mutlak sıcaklığı 1650 K ve basıncı 4664.27 kPa'dır. Bu motorun V_3/V_4 oranı 1/8 olduğuna göre genleşme sonu basınç ve sıcaklıklarını bulunuz.

Verilenler:
P_3=4664.27 kPa
T_3=1650 K
V_3/V_4 =1/8

İstenenler:
T_4=? ve P_4=?

Genleşme sonu basıncını 3.14 numaralı denklemden, sıcaklığını da 3.16 numaralı denklemden bulabiliriz.

$$P_4 = \frac{P_3}{8^k} \Rightarrow P_4 = \frac{4664.27}{8^{1.4}} \Rightarrow P_4 = 253{,}78 \text{ kPa},$$

$$T_4 = \frac{T_3}{8^{k-1}} \Rightarrow T_4 = \frac{1650}{8^{1.4-1}} \Rightarrow T_4 = 718{,}20 \text{ K olarak bulunur.}$$

Uygulama 6:
Teorik dizel çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı 18/1 ve püskürtme oranı (Sabit basınçta genleşme oranı veya kesme oranı da deniyor.) 1,6 olduğuna göre bu motorun verimini bulunuz. (k=1.4)

Verilenler:
ε =18
k=1.4
r_P=1.6

İstenenler:
η = ? verimi, verilenleri dikkate alarak 1.23 numaralı denklemden bulabiliriz.

$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}\left[\frac{r_P^k - 1}{k(r_P - 1)}\right] \Rightarrow \eta = 1 - \frac{1}{18^{k-1}}\left[\frac{1.6^{1.4} - 1}{1.4(1.6-1)}\right] \Rightarrow \eta = 65.12$$ verim

değerlerinin sonuna birim olarak % işareti genellikle konulmaz. Çıkan sonuç bir orandır. Fakat çıkan sonuç % olarak okunur yani verim % 65.12'dir.

Uygulama 7:
Teorik dizel çevrimine göre çalışan 4 zamanlı, 4 silindirli bir motorun net işi 0,985 kJ'dür. Bu motorun silindir hacmi $10{,}97\times10^{-4}$ m^3 olduğuna göre ortalama efektif basıncını ve 3000 d/d'da ürettiği gücü bulunuz.

Verilenler:
W_{net}=0.685 kJ
V_H=10.97×10^{-4} m^3
z =4
i=2
n=3000 d/d

İstenenler:
N_E=?

Bu verilenlerle ortalama efektif basıncı denklem 3.24'ten, gücü 3.25'ten hesaplayabiliriz.

$$P_e = \frac{W_{net}}{V_H} \Rightarrow P_e = \frac{0.685}{10.97 \times 10^{-4}} \Rightarrow P_e = 624.43$$ kPa olarak

$$N_E = \frac{W_{net} \times n \times z}{60 \times i} \Rightarrow N_E = \frac{0.685 \times 3000 \times 4}{60 \times 2} \Rightarrow N_E = 68.5$$ kW olarak bulunur.

Uygulama 8:

Teorik dizel çevrimine göre çalışan bir motorda maksimum basınç 41.4 bar, maksimum sıcaklık 1093 ^{0}C, sıkıştırma zamanı başlangıcında akışkanın sıcaklığı 21.1 ^{0}C ve basıncı 1.013 bardır. Bu motorun verimini bulunuz. Kritik noktalarda basınç, sıcaklık ve hacimlerini,

c_v=0.718 kJ/kgK c_p=1.005 kJ/kgK ve k=1.4

Verilenler:

t_1=21.1 °C → T_1= 21.1+273=294.1 K
P_1=1.013 bar= 101300 pa= 101.3 kPa
P_3=P_2=41.4 bar=4140 kPa
t_3=1093 °C → T_3= 1093+273=1366 K

İstenenler:

η= ?

Problem incelendiğinde verimin bulunabilmesi için öncelikle sıkıştırma ve sabit basınçta genleşme oranlarının bulunması gerektiği görülmektedir. Sıkıştırma oranı 3.4 numaralı denklemden bulunabilir. Sabit basınçta genleşme oranlarının bulunabilmesi için 3.12 numaralı denklemi kullanabiliriz. $T_3 = r_P * T_2$ bu denklemde de r_P ve T_2 değerleri bilinmiyor. Çözümü için T_2 değerinin bulunması gereklidir. T_2 değerini de 3.5 numaralı denklemden bulabiliriz.

$$\varepsilon^k = \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow \varepsilon^k = \frac{4140}{101.3} \Rightarrow \varepsilon = \sqrt[1.4]{40.868} \Rightarrow \varepsilon = 14.15$$

$$T_2 = T_1 \times \varepsilon^{k-1} \Rightarrow T_2 = 294.1 \times 14.15^{1.4-1} \Rightarrow T_2 = 848.97\ ^0K$$

$$r_P = \frac{T_3}{T_2} \Rightarrow r_P = \frac{1366}{848.97} \Rightarrow r_P = 1.6$$

^{0}K değerleri bulunur.

$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \left[\frac{r_P^k - 1}{k(r_P - 1)} \right] \Rightarrow \eta = 1 - \frac{1}{14.15^{k-1}} \left[\frac{1.6^{1.4} - 1}{1.4(1.6 - 1)} \right] \Rightarrow \eta = 61.3$$

Uygulama 9:

Teorik dizel çevrimine göre çalışan bir motorda, sıkıştırma başlangıcında çalışma maddesinin sıcaklığı 27 ^{0}C, basıncı 100 kPa, kurs hacmi 903 cm^3, sıkıştırma oranı 16/1'dir. Sıkıştırma sonu mutlak sıcaklığı 909 K, basıncı 4850 kPa ve sabit basınçta genleşme oranı 2'dir. İzantropik genleşme sonu mutlak sıcaklığı 791.7 K, basıncı 264 kPa'dır. Bu motorun

sabit basınçta genleşme sonu hacmini ve verimini hesaplayarak kritik nokta değerlerini dikkate alarak P-V ve T-S diyagramlarını çiziniz. (k=1.4)

Verilenler:

ε =16
k=1.4
r_P=2
t_1=27 °C T_1=27+273=300 K
T_2=909 K
T_3=1818 K
T_4=791.7 K
P_1= 100 kPa
P_3=P_2=4850 kPa
P_1= 264 kPa
V_1=V_H= 902 cm^3=$9{,}02\times10^{-4}$ m^3

İstenenler:

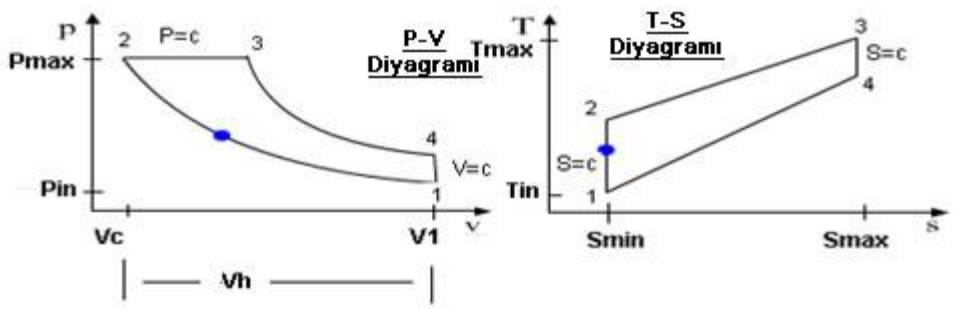
V_2=?
V_3=?
η= ?

Verilenler incelendiğinde, sabit basınçta genleşme sonu hacmini bulabilmek ($V_{3)}$ için öncelikle yanma odası hacminin ($V_{2)}$ bulunması gerektiği, daha sonra 3.11 numaralı denklem kullanılarak V_3 değerinin hesaplanabileceği görülüyor. Çevrimin verimi için gerekli olan sıkıştırma ve sabit basınçta genleşme oranları verilmiş, V_3 hacmi bulunduktan sonra diyagramların çizimi için gerekli kritik noktaların değerleri tamamlanmış olur ve diyagram değerler ışığında çizilir.

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} \Rightarrow V_2 = \frac{V_1}{\varepsilon} \Rightarrow V_2 = \frac{9.02\times10^{-4}}{16} = 0.5637\times10^{-4}$$

$$V_3 = r_P \times V_2 \Rightarrow V_3 = 2\times0.5637\times10^{-4} \Rightarrow V_3 = 1.127\times10^{-4}$$

$$\eta = 1-\frac{1}{\varepsilon^{k-1}}\left[\frac{r_P^k-1}{k(r_P-1)}\right] \Rightarrow \eta = 1-\frac{1}{16^{k-1}}\left[\frac{2^{1.4}-1}{1.4(2-1)}\right] \Rightarrow \eta = 61.4$$



Şekil 3.3: Teorik dizel çevrimi P-V ve T-S diyagramları

Diyagram çizilirken ölçeklere dikkat edilmelidir.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. ( ) Teorik dizel çevrimi sistemine ısı sabit sıcaklıkta verilir.

2. ( ) Teorik dizel çevriminde verim, sıkıştırma oranı arttıkça artar.

3. ( ) Teorik dizel çevriminin verimi sabit hacimde genleşme oranı ile ters orantılıdır.

4. ( ) Teorik dizel çevriminde sistemden ısı sabit hacimde atılır.

5. ( ) Teorik dizel çevriminde adyabatik (izantropik) hâl değişimi yoktur.

6. ( ) Teorik dizel çevriminde sıkıştırma ve enleşme politropik olarak gerçekleşmektedir.

7. ( ) Teorik dizel çevriminde, hesaplamalar yapılırken ısı kayıpları yok sayılır.

8. ( ) Teorik dizel çevriminde, dış ortamla madde alışverişi yoktur.

9. ( ) Teorik dizel çevriminde, basınç artma oranı sisteme verilen ısı ile doğru orantılıdır.

10. ( ) Teorik dizel çevriminde, sıkıştırma oranı teorik Otto çevriminden daha yüksektir. Bundan dolayı teorik dizel çevrimin verimi teorik Otto çevriminden daha yüksektir.

11. ( ) Teorik dizel ve teorik Otto çevrimlerinde sıkıştırma oranı eşit olursa teorik dizel çevriminin verimi daha yüksek olur.

Aşağıdaki problemleri çözerek sonuçlarını cevap anahtarı ile karşılaştırınız.

12. Teorik dizel çevrime göre çalışan 6 silindirli, 4 zamanlı, 2400 d/d maksimum hızlı bir dizel motorunun silindir hacmi 902 cm^3 ve sıkıştırma oranı 16/1'dır. Sıkıştırma başlangıcında sıcaklık 27 °C, basınç 1 atmosferdir ve sabit basınçta sisteme ısı verilmesi kurs hacminin % 6.66'sına kadar sürmektedir.

- Kurs ve yanma odası hacimlerini ve sabit basınçta genleşme oranını,
- Kritik noktalarda çevrimin sıcaklık, basınç, hacim değerlerini,
- Verimini,
- Ortalama efektif basıncını ve gücünü bulunuz.

c_v=0.718 kJ/kgK c_p=1.005 kJ/kgK R=0.287 kJ/kgK ve k=1.4

13. Teorik dizel çevrime göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı 24/1, püskürtme oranı 1,8 (sabit basınçta genleşme oranı), silindir çapı 80 mm, kursu 90 mm, sıkıştırma başlangıcı sıcaklığı 35 °C, basıncı 1 bar olduğuna göre;

- Kritik noktalardaki basınç, sıcaklık ve hacim değerlerini,
- Çevrimin verimini,
- Net işi ve ortalama efektif basıncı hesaplayınız.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ–4

AMAÇ

Pratik dizel çevrimi ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Günümüzde tam olarak pratik dizel çevrime göre çalışan motor var mı? Araştırınız.
- Dizel motorlarda meydana gelen zamanları araştırınız.
- Püskürtme avansı ne demektir? Araştırınız.
- Hava standart gerçek çevrimlerde yapılan kabulleri araştırınız.
- Hacimsel verimini araştırınız.

4. PRATİK DİZEL ÇEVRİMİ

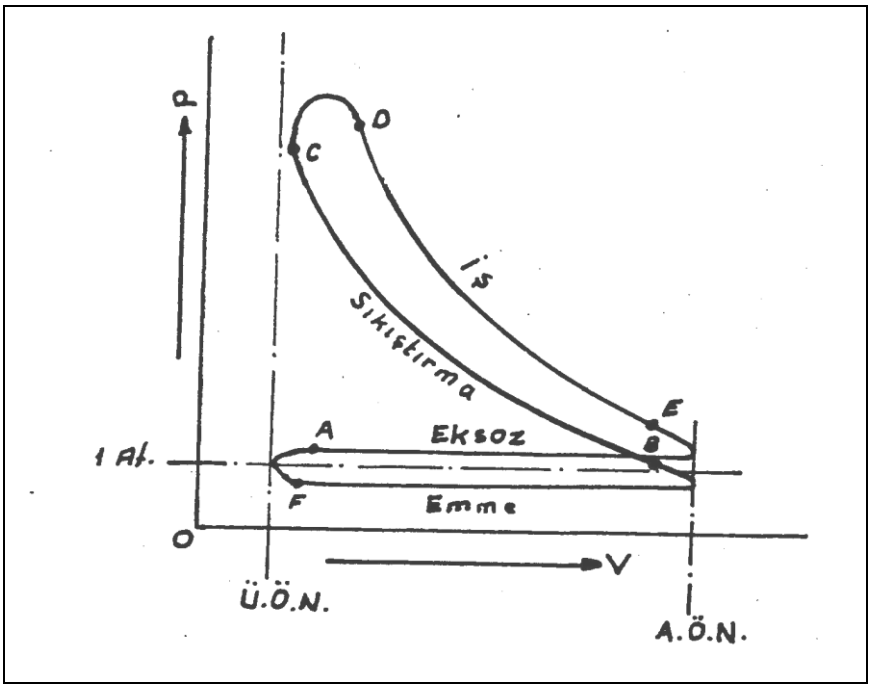
4.1. Teorik Dizel Çevrimiyle Arasındaki Farklar

Pratik ve teorik dizel çevrimleri arasındaki farkları incelerken P-V diyagramlarını karşılaştırmak, farklılıkların anlaşılmasında çok yardımcı olacaktır. Şekil 4.1'de pratik dizel çevrimleri P-V diyagramı gösterilmektedir.

Pratik dizel çevrimi, teorik dizel çevrimi gibi kapalı ve tersinir bir çevrim değildir. Dış ortamdan madde alışverişi olan, açık bir çevrimdir. Çevrimin temel mantığı teorik çevrimle aynıdır. Teorik ve pratik dizel çevrimi arasındaki temel farklılıkları, pratik çevrimdeki zamanların oluşumuna göre inceleyebiliriz.

4.1.1. Emme Zamanı

Bilindiği gibi teorik dizel çevrimi kapalı bir çevrimdir. Dolayısıyla sistemde madde alışverişi olamadığından emme işlemi de yoktur. Emme işleminin olamaması emme kayıpları ve hacimsel verim gibi etkenleri ortadan kaldırır.



Şekil 4.1: Pratik dizel çevrimi P-V diyagramları

Pratik dizel çevriminde ise sıkıştırma öncesinde sisteme dış ortamdan hava alınması gerekmektedir. Havanın silindirlere alınması pompalama kayıplarından, motor hızından, emme supaplarının açık kalma süresi ve açıklık miktarından, emme supabının kapanma zamanından, silindirde kalan egzoz gazlarının miktarından etkilenmekte ve hiçbir zaman silindir tam olarak taze hava ile doldurulamamaktadır. Bu durum pratik dizel çevriminin verimini olumsuz etkiler.

4.1.2. Sıkıştırma Zamanı

Teorik dizel çevriminde, sıkıştırma izantropiktir. Sıkıştırma işlemi sırasında sistemden madde kaybı olmaz çünkü çevrim kapalıdır. Sıkıştırma AÖN'den başlayıp ÜÖN'ye kadar devam eder.

Pratik dizel çevriminde sıkıştırma işlemi sırasında ısı kayıpları mevcuttur. Sıkıştırma sonunda ısı kayıpları, basınç ve sıcaklığın teorik çevrime göre daha düşük kalmasına sebep olur.

4.1.3. Püskürtme (İş) Zamanı

Teorik çevrimde, sabit basınçta sisteme ısı verilir ve piston AÖN'ye doğru yönelir. Sabit basınçtan sonra genleşme işlemi izantropik olarak gerçekleşir. Isı kaybı olmaksızın ve piston AÖN'ye ulaşıncaya kadar devam eden genleşme, yapılan net işin artmasını sağlar.

Pratik çevrimde, sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığı yükselen havaya enjektörle yakıt püskürtülür ve sağlanan yanma sonucu sisteme ısı verilmiş olur. Yanma işlemi belirli bir zamanda tamamlanır. Sisteme verilen ısı basıncını artırır. Hâlbuki, teorik çevrimde ısının sabit basınçta verildiği kabul edilmişti. Yakıt hava karışımı, tutuştuktan sonra tam olarak yanamaz çünkü karışım, her noktasında homojen değildir; bazı noktalarda yanma için gerekli olan oksijen eksik, bazı noktalarda ise yakıt miktarı eksik olabilir. Yanma işleminin kimyasal denklemi hiçbir zaman tam olarak gerçekleşmez. Yüksek sıcaklıklarda karbonmonoksit ve karbondioksit arasında bir döngü söz konusudur. Sisteme ısı verildikten sonra, piston AÖN'ye hareket ederken de ısı kayıpları meydana geleceğinden net iş düşer. Genleşme işlemi tam olarak AÖN'ye kadar devam etmez. Piston AÖN'ye yaklaşırken egzoz supabı açılır ve yanmış gazların dışarıya atılma işlemi başlar bu durum da net işin azalmasına neden olur.

4.1.4. Egzoz Zamanı

Teorik dizel çevriminde sistemden ısı atılarak başlangıç noktasına dönülmesi işlemi, sabit hacimde ve ani olarak yapılır. Sistemden ısı atılması sonunda çalışma maddesi tam olarak başlangıç noktasındaki özelliklerine dönmüştür. Böylece yeni bir çevrime hazır hâle gelinir.

Pratik dizel çevriminde egzoz gazlarının sistemden atılmasına AÖN'den önce başlanır ve piston ÜÖN'yi geçene kadar devam eder. Dışarı atılan egzoz gazları sisteme alınan havanın özelliklerinden uzaktır. Basınçları, ve sıcaklıkları daha yüksektir; kimyasal ve fiziksel olarak da başlangıç özelliklerinden çok farklıdır. Bu durumda pratik dizel çevrimi açık ve içten tersinmez bir çevrim olmuş oluyor.

Zamanlarına göre teorik ve pratik dizel çevrimlerinin temel farklarını inceledik. Pratik dizel çevriminde sıkıştırma ve genleşme işlemleri politropik olarak yapılmaktadır.

Pratik dizel çevriminde kritik noktalardaki değerleri ve çevrim verimini nasıl bulacağımızı görelim.

4.2. Politropik Sıkıştırma

Pratik dizel çevriminde silindire alınan hava, silindirin ve artık egzoz gazlarının sıcaklıklarından dolayı ısınır ve sıcaklığı artar. Sıkıştırma başlangıcında karışım sıcaklığı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$T_1 = (1-f)T_{in} + fT_{ex}\left[1-\left(1-\frac{P_{in}}{P_{ex}}\right)^{k-1/k}\right] \qquad (4.1)$$

Denkleme dikkat edilirse emme ve egzoz basınçları eşit olduğunda köşeli parantezin içi 1'e eşit olur ve çarpmada etkisiz olduğundan denklemin ikinci terimi $f \times T_{ex}$ şeklinde sadeleşir.

Bu denklemde;

T_1: Sıkıştırma başlangıcında karışım sıcaklığını,
f: Silindirde kalan ard gazların kütle oranını yaklaşık olarak (f=0,05),
T_{in}: Havanın motora giriş sıcaklığını,
P_{in}: Havanın motora giriş basıncını,
T_{ex}: Egzoz gazları sıcaklığını,
P_{ex}: Egzoz gazları basıncını,
k: Adyabatik üssü ifade etmektedir.

Genel olarak sıkıştırma başlangıcı basıncı, emme basıncına çok yakındır. Dolayısıyla sıkıştırma başlangıcı basıncı; P_1

$$P_1 \cong P_{in} \tag{4.2}$$

olarak alınır. Sıkıştırma sonu basıncı P_2:

$$P_2 = P_1 \times \varepsilon^{n_1} \tag{4.3}$$

elde edilir. Sıkıştırma sonu sıcaklığı T_2 :

$$T_2 = T_1 \times \varepsilon^{n_1 - 1} \tag{4.4}$$

burada,

ε : Sıkıştırma oranını,
n_1: Sıkıştırmanın politropik üssünü ifade etmektedir.

Hatırlanacağı gibi pratik çevrimde sıkıştırma izantropik değildi. Yapılan deneyler ve hesaplamalar sonucunda dizel çevrimler için $n_1$in, 1,36 ile1,40 değerleri arsında değiştiği görülmüştür.

4.3. Politropik Genleşme

Pratik dizel çevriminde iş zamanı, sıkıştırılan havaya püskürtülen yakıtın yanması ve genleşme evrelerinden oluşur. Yanma sonu sıcaklık ve hacim değerlerine ulaşabilmemiz için karışımın alt ısıl değerini, silindire püskürtülen yakıt miktarını veya sabit basınçta genleşme oranını bilmemiz gereklidir.

Yanma sonu sıcaklık T_3:

$$T_3 = T_2 + \frac{(1-f)q_f}{c_P} \tag{4.5}$$

Burada,

q_f: Karışımın alt ısıl değeridir (kJ/kg), birim kütle için hesaplamalar yapılırken kullanılır. Gerçek çevrimlerde, karışımın yanması sonucu ortaya çıkacak ısı kullanılır. Yanma sonu çevrime verilen gerçek ısı, çevrimde yakılan yakıtın kütlesi ile yakıtın alt ısıl değerine bağlıdır.

$r_P = \frac{V_3}{V_2} = \frac{T_3}{T_2}$ olduğunu biliyorduk buradan V_3:

$$V_3 = r_P \times V_2 \tag{4.6}$$

$$T_3 = r_P \times T_2 \tag{4.7}$$

olarak bulunur.

Genleşme sonundaki basınç ve sıcaklık değerleri olan P_4 veT_4 değerlerini;

$$T_4 = T_3\left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{n_2-1} \tag{4.8}$$

$$P_4 = P_3\left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{n_2} \tag{4.9}$$

denklemlerini kullanarak hesaplayabiliriz.

Burada,

n_2: Genleşmenin politropik üssüdür. Dizel motorlarda 1,22 ile 12,5 arasındadır.

Pratik dizel çevrimi tersinir olmadığı için egzoz gazlarının gerçek basınç ve sıcaklık değerleri, emme karışımı değerlerinden yüksektir. Egzoz gazı sıcaklığı çevrim verimi için önemlidir.

4.4. Pratik Dizel Çevrimi Verimi

Pratik dizel çevriminin kritik noktalarındaki basınç, sıcaklık değerleri bulunduktan sonra çevrimin verimi için;

$\eta_g = \frac{W_{net}}{Q_{in}} \Rightarrow \eta_g = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} \Rightarrow \eta_g = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$ denkleminden gerekli sadeleştirmeler yapılarak:

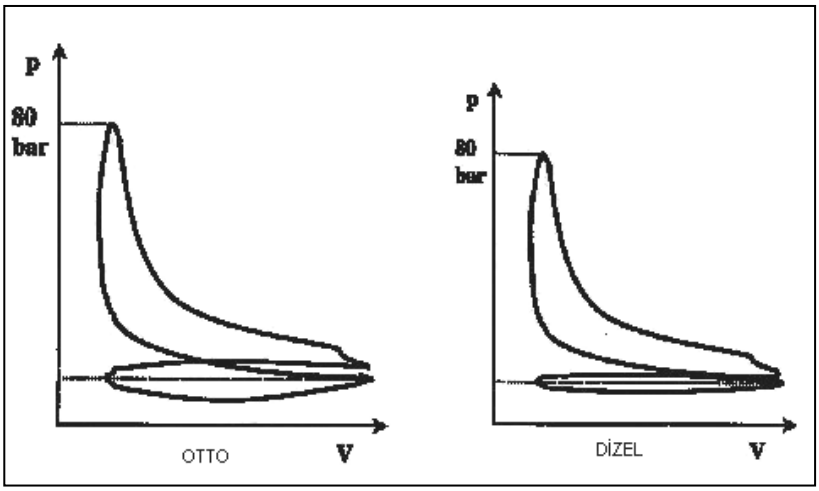
$$\eta_g = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n-1}}\left[\frac{r_P^n - 1}{n(r_P - 1)}\right] \tag{4.10}$$

denklemine ulaşılır.

Burada,

η_g: Pratik çevrim verimini,
n: Çevrimin politropik üssünü belirtmektedir.

Hesaplamalar yapıldıktan sonra çevrimin diyagramını çizerken öncelikle P ve V eksenlerini çizmeliyiz. Bu eksenler üzerinde ölçeğine yakın olarak P ve V değerlerini yerleştirdikten sonra 1 ve 2 noktaları arasını politropik sıkıştırmaya uygun bir eğri ile 2-3 arasında basınç değiştiğinden bu değişime dikkat ederek yaklaşık basınç eksenine dik, hacim ve basınçtaki artış gösterilerek 3-4 arasını politropik genleşmeye uygun bir eğri ile ve son olarak 4-1 noktaları arasını hacim değişikliğini dikkate alarak çizmeliyiz. Emme ve egzoz eğrileri çizilirken emme basıncının atmosfer basıncına çok yakın fakat atmosfer basıncından daha düşük olduğunu, egzoz basıncının da atmosfer basıncına çok yakın fakat daha yüksek olduğunu dikkate alarak çizmeliyiz. Otto çevriminde emme ve egzoz kayıpları, dizel çevriminden daha fazladır.



Şekil 4.2: Otto ve dizel çevrimleri P-V diyagramları emme ve pompalama kayıp alanları

UYGULAMA FAALİYETİ

Pratik dizel çevrimi ile ilgili hesaplamaları yapınız.

Tavsiyeler:

Örnek problemler çözülürken öncelikle verilenler, birimleri ile birlikte yazılmalı ve birimlerde gerekli çevrimler yapılmalı, daha sonra istenenler yazılarak istenenlerin işlem sırası, yani çözüm sıraları incelenmeli ve en uygun çözüm sırası seçildikten sonra çözüme geçilmelidir. Bulunan her sonucun birimi mutlaka belirtilmelidir. Bu sizin problemleri, kavramları daha iyi ve kalıcı bir şekilde öğrenmenizi sağlayacaktır.

Uygulama 1:

Pratik dizel çevrimine göre çalışan bir motorda emme başlangıcında havanın mutlak sıcaklığı 300 K, basıncı 98 kPa ve artık gazların kütle oranı 0,05 ve egzoz gazlarının mutlak sıcaklığı 705 K ise bu motorun sıkıştırma başlangıç sıcaklığını bulunuz.

Not: Emme başlangıcı basıncı, sıkıştırma başlangıcı basıncı ve egzoz basıncı yaklaşık olarak eşittir.

Verilenler:
T_{in}=300 K
T_{ex}=705 K
P_{in}= P_1= P_{ex}= 98 kPa
f=0,05

İstenenler:
T_1=?

P_{in}= P_1= P_{ex} olduğu için 4.1 numaralı denklem aşağıdaki gibi sadeleşir:

$T_1 = (1-f)T_{in} + fT_{ex}$ verilenler yerine konursa,

$T_1 = (1-0{,}05)300 + 0{,}05 \times 705 \Rightarrow T_1 = 320{,}25$ K bulunur.

Uygulama 2:

Pratik dizel çevrimine göre çalışan bir motorda egzoz basıncı 98 kPa, artık gazların kütle oranı 0,05 ve sıkıştırma başlangıç mutlak sıcaklığı 329 K ve sıkıştırma oranı 21/1 ise bu motorun politropik sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklıklarını bulunuz.

Not: Emme başlangıcı basıncı, sıkıştırma başlangıcı basıncı ve egzoz basıncı yaklaşık olarak eşittir. Sıkıştırmanın politropik üssü 1,39'dur.

Verilenler:
n_1=1,39
T_1=329 K
P_{in}= P_1= P_{ex}= 98 kPa
f=0,05

İstenenler:
T_2=? ve P_2=?

ε=21

Pratik dizel çevriminde sıkıştırma politropik olduğundan n_1 kullanılacaktır. 4.3 ve 4.4 numaralı denklemlerden;

$$P_2 = P_1 \times \varepsilon^{n_1} \Rightarrow P_2 = 98 \times 21^{1,39} \Rightarrow P_2 = 6747,0 \text{ kPa}$$

$$T_2 = T_1 \times \varepsilon^{n_1 - 1} \Rightarrow T_2 = 329 \times 21^{1,39-1} \Rightarrow T_2 = 1078,60 \text{ K}$$

Uygulama 3:

Pratik dizel çevrimine göre çalışan bir motorda sıkıştırma sonu basıncı 6547 kPa, mutlak sıcaklığı 1095 K ve hacimsel genleşme oranı 1,8'dir. Bu motorun yanma odası hacmi $0,26 \times 10^{-4}$ m^3 ise sabit basınçta genleşme sonu hacim ve sıcaklıklarını bulunuz.

Verilenler:	**İstenenler:**
T_2=1095 K	T_3=? ve V_3=?
P_2= 6547 kPa	
r_p=1,8	
V_2=$0,26 \times 10^{-4}$ m^3	

Çevrimin maksimum basınç ve sıcaklıklarını denklem 4.6 ve 4.7'den bulabiliriz.

$$V_3 = r_P \times V_2 \Rightarrow V_3 = 1,8 \times 0,25 \times 10^{-4} \Rightarrow V_3 = 0,45 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$T_3 = r_P \times T_2 \Rightarrow T_3 = 1,8 \times 1095 \Rightarrow T_3 = 1971\,^0\text{K}$$ olarak bulunur.

Uygulama 4:

Pratik dizel çevrimine göre çalışan bir motorda maksimum basınç 6752 kPa, mutlak sıcaklık 2043 K ve sıkıştırma oranı 22 olduğuna göre bu motorun yanma sonu basınç ve sıcaklıklarını bulunuz. Genişlemenin politropik üssü n_2=1,25 olarak alınacaktır. V_4/V_3=9,5

Verilenler:	**İstenenler:**
T_3=2043 K	T_4=?
P_3= 6752 kPa	P_4=?
n_2=1,25	
ε=20	
V_4/V_3=9,5	

Pratik dizel çevriminde yanma sonuna politropik bir genleşme sonrasında ulaşılmaktaydı. Dolayısıyla politropik genleşme işleminin üssü kullanılmalıdır. Yanma sonu basınç ve sıcaklık değerlerine, 4.8 ve 4.9 numaralı denklemleri kullanarak ulaşabiliriz.

$$T_4 = \frac{T_3}{(V_4/V_3)^{n_2-1}} \Rightarrow T_4 = \frac{2043}{9,5^{1,25-1}} \Rightarrow T_4 = 1179,52 \text{ K}$$

$$P_4 = \frac{P_3}{(V_3/V_4)^{n_2}} \Rightarrow P_4 = \frac{6752}{9{,}50^{1{,}25}} \Rightarrow P_4 = 404{,}83 \text{ kPa elde edilir.}$$

Uygulama 5:

Pratik dizel çevrimine göre çalışan bir motorun hacimsel genleşme oranı 1,8, sıkıştırma oranı 20/1 ve politropik üssü 1,37 ise verimini hesaplayınız.

Verilenler:	**İstenenler:**
n=1,37	η_g=?
ε=20	
r_p=1,8	

Pratik çevrim veriminde politropik üs alınır. Verim 4.10 numaralı denklemden bulunur.

$$\eta_g = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n-1}}\left[\frac{r_P^n - 1}{n(r_P - 1)}\right] \Rightarrow \eta_g = 1 - \frac{1}{20^{1{,}37-1}}\left[\frac{1{,}8^{1{,}37} - 1}{1{,}37(1{,}8-1)}\right] \Rightarrow \eta_g = 0{,}62 \text{ olur.}$$

Uygulama 6:

Pratik dizel çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı 17/1, emme başlangıcında havanın mutlak sıcaklığı 300 K, basıncı 97 kpa, sıkıştırmanın politropik üssü 1.4, politropik genleşmenin üssü 1.25, egzoz gazların mutlak sıcaklığı 765 K ve basıncı 97 kPa, artık gazların kütle oranı 0,05, sabit basınçta genleşme oranı 2, çevrimin politropik üssü 1,3 ve yanma odası hacmi 0,304×10-4 m³ ise;

- Sıkıştırma başlangıcında karışımın basınç ve sıcaklığını,
- Politropik sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığını,
- Çevrimin maksimum sıcaklığını, püskürtme sonu hacmini,
- Politropik genleşme sonu basınç ve sıcaklığını,
- Çevrimin verimini hesaplayarak P-V diyagramını çiziniz.

Verilenler:	**İstenenler:**
T_{in}=300 K	f=0,05
T_{ex}=765 K	n_1=1,4
P_{in}=97 kPa	n_2=1,25
P_{ex}= 97 kPa	n=1,3
$V_C=V_2$=0,304×10^{-4} m^3 ve V_4/V_3=8	ε=17
	r_p=2

a) Sıkıştırma başlangıcı sıcaklığını 4.1 numaralı denklemden buluruz.

$$T_1 = (1-f)T_{in} + fT_{ex} \Rightarrow T_1 = (1-0{,}05)300 + 0{,}05 \times 765 \Rightarrow T_1 = 323{,}25 \text{ K ve } P_1 \approx P_{in} = 97 \text{ kPa}$$

b) Pratik dizel çevriminde sıkıştırma politropik olduğundan n_1 kullanılacaktır. 4.3 ve 4.4 numaralı denklemlerden;

$$P_2 = P_1 \times \varepsilon^{n_1} \Rightarrow P_2 = 97 \times 17^{1,4} \Rightarrow P_2 = 5121,53 \text{ kPa}$$

$$T_2 = T_1 \times \varepsilon^{n_1 - 1} \Rightarrow T_2 = 323,25 \times 17^{1,4-1} \Rightarrow T_2 = 1003,96 \text{ K}$$

c) Çevrimin maksimum sıcaklığını denklem 4.6 ve 4.7'den bulabiliriz.

$$V_3 = r_P \times V_2 \Rightarrow V_3 = 2 \times 0,304 \times 10^{-4} \Rightarrow V_3 = 0,608 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

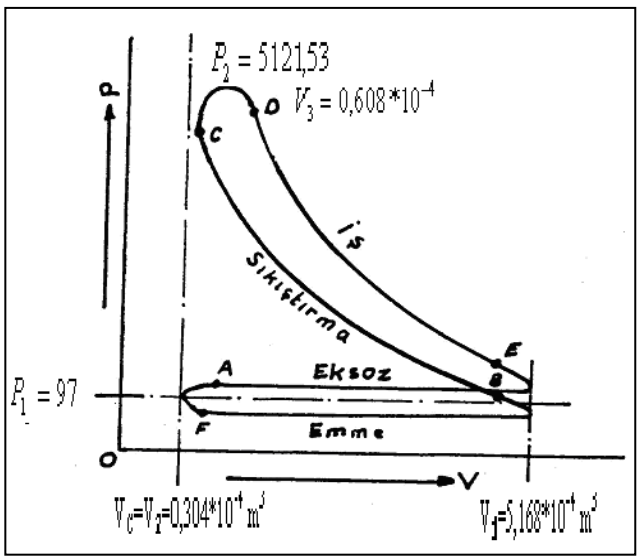
$$T_3 = r_P \times T_2 \Rightarrow T_3 = 2 \times 1003,96 \Rightarrow T_3 = 2007,92 \text{ K olarak bulunur.}$$

d) $T_4 = \dfrac{T_3}{8^{n_2 - 1}} \Rightarrow T_4 = \dfrac{2007,92}{8^{1,25-1}} \Rightarrow T_4 = 1193,91 \text{ K}$

$P_4 = \dfrac{P_3}{8^{n_2}} \Rightarrow P_4 = \dfrac{5121,53}{8^{1,25}} \Rightarrow P_4 = 380,65$ kPa elde edilir.

e) $\eta_g = 1 - \dfrac{1}{\varepsilon^{n-1}} \left[\dfrac{r_P^n - 1}{n(r_P - 1)} \right] \Rightarrow \eta_g = 1 - \dfrac{1}{17^{1,3-1}} \left[\dfrac{2^{1,3} - 1}{1,3(2-1)} \right] \Rightarrow \eta_g = 0,52$ olarak bulunur.

Şimdi çevrimin P-V diyagramını çizelim.



Şekil 4.3: Hesaplanan pratik dizel çevrimi P-V diyagramları

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. ( ) Pratik dizel çevriminde çevrim içten tersinirdir.

2. ( ) Pratik dizel çevriminde verim, sıkıştırma oranına ve püskürtme oranına bağlıdır.

3. ( ) Pratik dizel çevriminin verimi her zaman teorik çevrim veriminden büyüktür.

4. ( ) Pratik dizel çevriminde sisteme ısı sabit hacimde verilir.

5. ( ) Pratik Otto çevriminde pompalama kayıpları pratik dizel çevriminden daha fazladır

6. ( ) Pratik dizel çevriminde sıkıştırma ve genleşme adyabatik olarak gerçekleşmektedir

7. ( ) Pratik dizel çevriminde, püskürtme tam olarak ÜÖN'de başlar.

8. ( ) Pratik Otto ve dizel çevrimlerinin P-V diyagramları benzerdir.

9. ( ) Pratik dizel çevrimi genleşme zamanında ısı kaybı yoktur.

Aşağıdaki problemleri çözerek sonuçlarını cevap anahtarı ile karşılaştırınız.

10. Pratik dizel çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı 19/1, emme başlangıcında karışımın mutlak sıcaklığı 285 K, basıncı 98 kPa, sıkıştırmanın politropik üssü 1,38, politropik genleşmenin üssü 1,27, egzoz gazlarının mutlak sıcaklığı 760 K, ve basıncı 98 kPa, artık gazların kütle oranı 0,05 ve püskürtme oranı 2, çevrimin politropik üssü 1,32 ise V_3/V_4 =10

- Sıkıştırma başlangıcında karışımın basınç ve sıcaklığını,
- Politropik sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığını,
- Çevrimin maksimum sıcaklığını,
- Politropik genleşme sonu basınç ve sıcaklığını bulunuz.

11. Pratik dizel çevrime göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı 22/1, emme başlangıcında karışımın mutlak sıcaklığı 305 K, basıncı 100 kPa, sıkıştırmanın politropik üssü 1,4, politropik genleşmenin üssü 1,26, püskürtme oranı 1,95, egzoz gazlarının mutlak sıcaklığı 808 K, ve basıncı 100 kPa, artık gazların kütle oranı 0,05, politropik üssü 1,25 ise ve V_3/V_4=10,8

- Sıkıştırma başlangıcında karışımın basınç ve sıcaklığını,
- Politropik sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığını,
- Çevrimin maksimum sıcaklığını,
- Politropik genleşme sonu basınç ve sıcaklığını bulunuz.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ–5

AMAÇ

Teorik karma çevrim ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Dört ve iki zamanlı dizel ve Otto çevrimlerinin zamanlarındaki farklılıkları araştırınız.
- Günümüzde karma çevrime göre çalışan motorlar hangi motorlardır? Araştırınız.
- Bilimsel hesap makinesi ile üslü sayılarda işlemlerin nasıl yapıldığını araştırınız.
- Önceki öğrenme faaliyetlerinde açıklanan Otto ve dizel çevrimin birlikte kullanılmasını mümkün olup olmadığını sebepleri ile araştırınız.
- Hava standart çevrimlerde yapılan kabulleri araştırınız.

5. TEORİK KARMA ÇEVRİM

5.1. Teorik Karma Çevrimde P-V ve T-S Diyagramları

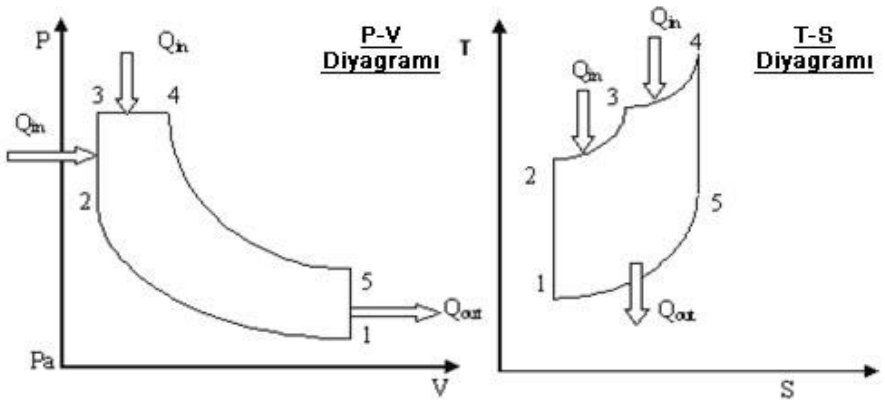
Teorik karma çevrimde sisteme ısı, önce sabit hacimde, sonra da sabit basınçta verilir. Yanmanın, sabit hacimde başladığı ve sabit basınçta devam ettiği kabul edilir. Öğrenme Faaliyeti 1'de belirtildiği gibi hava standart çevrimler için yapılan kabuller teorik karma çevrim için de geçerlidir. Bu kabuller şunlardı:

- Çevrimde, kapalı sistem ve sabit miktarda ideal gaz kullanıldığından emme ve egzoz işlemlerini içeren pompalama kayıpları dikkate alınmaz.
- Sıkıştırma ve genleşme işlemlerinde sistemle çevre arsında ısı alışverişi yoktur. Yani sıkıştırma ve genleşme işlemleri izantropiktir (adyabatik).
- İdeal olarak kabul edilen havanın ısı kapasitesi (özgül ısıları) sıcaklıkla değişmez, sabittir.
- Yanma işleminin yerini dış kaynaktan ısı geçişi, egzoz işleminin yerini dış kaynağa ısı geçişi alır.
- Çevrimi oluşturan hâl değişimlerinin tümü içten tersinirdir.

Yapılan kabulleri bir kez daha belirtmekte fayda olduğundan burada tekrar hatırlatılmıştır.

Bu kabulleri gözden geçirdikten sonra teorik karma çevrimi, Şekil 5.1'deki P-V ve T-S diyagramlarından faydalanarak basitçe şöyle anlatabiliriz: Çalışma maddesi olan hava 1 noktasından 2 noktasına kadar izantropik olarak sıkıştırılır. Sıkıştırma sonunda çalışma

maddesinin basıncı ve sıcaklığı artar. 2 noktasından 3 noktasına kadar çalışma maddesine sabit hacimde dışarıdan ısı verilir ve sıcaklık ile basınç tekrar artar, 2-3 noktaları arsında sabit hacimde basınç artışı meydana gelir. Karma çevrimde basınç artış oranı önemli parametrelerden biridir. 3-4 noktaları arasında sisteme sabit basınçta ısı verilmeye devam edilir ve bunu sonucu olarak sabit basınçta genleşme meydana gelir. Sabit basınçta meydana gelen bu genleşme de karma çevrimde önemli parametrelerden biridir. Basıncın etkisi ile piston AÖN'ye doğru itilir. 4 noktasında sıcaklık maksimum değerine ulaşır. 4-5 noktaları arasında izantropik genleşme meydana gelir ve piston basıncın etkisi ile AÖN'ye itilmeye devam edilir. 5 noktasına ulaşıldığında sistemdeki çalışma maddesinin basın ve sıcaklığı başlangıç noktasındakinden daha yüksek değerlerdedir. Çevrimin izantropik olabilmesi için 5 noktasından 1 noktasına kadar sabit hacimde çalışma maddesinden dışarıya ısı atılır ve 1 noktasında sistem en baştaki koşullarına döner. Böylece çevrim içten tersinir olarak tamamlanır.



Şekil 5.1: Teorik karma çevrim P-V ve T-S diyagramları

5.2. İzantropik Sıkıştırma

Teorik karma çevriminde, Otto ve dizel çevrimlerdeki gibi 1 noktasındaki çalışma maddesi 2 noktasına kadar izantropik olarak sıkıştırılır. 1 noktasında karışımın sıcaklığı T_1 ve basıncı P_1dir, 2 noktasında sıcaklık T_2ye basınç ise P_2ye çıkacaktır (Şekil 5.1). İzantropik hâl değişiminin gerçekleşebilmesi için negatif bir iş yapılamaktadır. İzantropik hâl değişimlerinde ısı transferi olmadığını belirtmiştik. İdeal gaz denkleminden karma çevrim için aşağıdaki bağıntılar yazılabilir:

$$P_1 \times V_1^k = P_2 \times V_2^k \qquad (5.1)$$

buradan,

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1^k}{V_2^k} \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k \qquad (5.2)$$

elde edilir. Burada V_1 silindir hacmini, V_2 yanma odası hacmini ifade etmektedir. Sıkıştırma oranı:

$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$ olduğundan 1.2 numaralı denklemde V_1/V_2 yerine ε yazılırsa yeni denklemimiz;

$$\frac{P_2}{P_1} = \varepsilon^k \Rightarrow P_2 = P_1 \times \varepsilon^k \qquad (5.3)$$

olur. T_2 sıcaklığı için;

$$T_1 \times V_1^{k-1} = T_2 \times V_2^{k-1} \qquad (5.4)$$

buradan,

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{V_1^{k-1}}{V_2^{k-1}} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} \qquad (5.5)$$

olur. 1.5 numaralı denklemde V_1/V_2 yerine ε yazılırsa yeni denklemimiz;

$$\frac{T_2}{T_1} = \varepsilon^{k-1} \Rightarrow T_2 = T_1 \times \varepsilon^{k-1} \qquad (5.6)$$

olur. Ayrıca 1 ve 2 noktaları arasında T ve P ilişkisini

$$P_1^{1/k-1} \times T_2 = P_2^{1/k-1} \times T_1 \qquad (5.7)$$

denklemi ile ifade ederiz. Dikkat edilirse teorik Otto, dizel ve karma çevrim için 1-2 noktaları arasındaki bağıntılar aynıdır. Bunun sebebi her üç teorik çevrimde de 1-2 noktaları arsında izantropik sıkıştırma işlemi yapılıyor olmasıdır.

5.3. Sabit Hacimde Isı Verilmesi

Teorik karma çevriminde 2 noktasındaki çalışma maddesine, sabit basınçta ısı verilmek suretiyle çalışma maddesi 3 noktasına kadar ısıtılarak basıncı P_3 ve sıcaklığı T_3 değerlerine yükseltilir (Şekil 1.1). Burada da dikkat edecek olursak karma çevrimin 2-3 noktaları arasındaki bağıntılar, teorik Otto çevriminin 2-3 noktaları arasındaki bağıntılarıyla aynıdır. Çünkü her iki çevrimde de sabit hacimde sisteme ısı verilmektedir. Sabit hacimde ısı verilmesi sonucu oluşan P_3 ve T_3 değerlerine ideal gaz denkleminden istifade ederek ulaşabiliriz. Buradaki sabit hacimde basınç artma oranı önemli bir parametredir.

$\frac{P_2 \times V_2}{T_2} = \frac{P_3 \times V_3}{T_3} \Rightarrow$ ısı verme işlemi (piston ÜÖN'de iken) sabit hacimde olduğundan $V_2=V_3$ tür gerekli sadeleştirme yapılırsa

$$\frac{P_2}{T_2}=\frac{P_3}{T_3} \quad \text{ve} \quad \frac{T_3}{T_2}=\frac{P_3}{P_2} \tag{5.8}$$

burada elde edilen denklem, aynı zamanda sabit hacimde basınç artış oranını (r_v) da vermektedir.

$$r_V=\frac{P_3}{P_2}=\frac{T_3}{T_2} \tag{5.9}$$

$$P_3=r_V\times P_2 \tag{5.10}$$

$$T_3=r_V\times T_2 \tag{5.11}$$

5.4. Sabit Basınçta Isı Verilmesi

Teorik karma çevrimde 3 noktasındaki çalışma maddesine, sabit basınçta ısı verilmek suretiyle çalışma maddesi 4 noktasına kadar ısıtılarak hacmi V_4 ve sıcaklığı T_4 değerlerine ulaşmaktadır (Şekil 1.1). Karma çevrimin 3-4 noktaları arası bağıntılar, teorik dizel çevriminin 2-3 noktalarındaki bağıntılarla benzerdir. Çünkü her iki çevrimde de sisteme sabit basınçta ısı verilmektedir. Sabit basınçta ısı verilmesi sonucu oluşan V_4 hacmi ve T_4 sıcaklığı değerlerine ideal gaz denkleminden istifade ederek ulaşabiliriz.

$\frac{P_4\times V_4}{T_4}=\frac{P_3\times V_3}{T_3}\Rightarrow$ ısı verme işlemi (Piston ÜÖN'da da iken başlıyor V_4 hacmine kadar devam ediyor.) sabit basınçta olduğundan $P_4=P_3$ tür gerekli sadeleştirme yapılırsa

$$\frac{V_4}{T_4}=\frac{V_3}{T_3} \quad \text{ve} \quad \frac{T_4}{T_3}=\frac{V_4}{V_3} \tag{5.12}$$

burada elde edilen denklem aynı zamanda sabit basınçta hacim artış oranını (r_P) da vermektedir.

$$r_P=\frac{V_4}{V_3}=\frac{T_4}{T_3} \tag{5.13}$$

$$V_4=r_P\times V_3 \tag{5.14}$$

$$T_4=r_P\times T_3 \tag{5.15}$$

burada elde edilen sıcaklık değeri çevrimin en yüksek sıcaklık değeridir.

5.5. İzantropik Genleşme

Teorik karma çevriminde 4 noktasındaki çalışma maddesi, 5 noktasına kadar izantropik olarak genleştirilir. 4 noktasında karışımın sıcaklığı T_4 ve hacmi V_4, basınç P_4 tür, 5 noktasında sıcaklık T_5e basınç ise P_5e düşecek, hacim V_5e ulaşacaktır (Şekil 1.1). 4-5 noktaları arasında piston, üzerindeki basınç etkisi ile AÖN'ye doğru itilmeye devam edilecek

ve hâl değişimi boyunca pozitif bir iş elde edilecektir. İzantropik hâl değişimlerinde ısı transferi olmadığını belirtmiştik. İdeal gaz denkleminden gerekli sadeleştirmeler ve hesaplamalar yapılarak aşağıdaki bağıntılara ulaşılır:

$$P_5 \times V_5^k = P_4 \times V_4^k \qquad (5.16)$$

buradan, sıcaklık ve hacim arasındaki bağıntı:

$$T_5 \times V_5^{k-1} = T_4 \times V_4^{k-1} \qquad (5.17)$$

Ayrıca 4-5 noktaları arasında P ve T arasındaki ilişkiyi,

$$P_4^{1/k-1} \times T_5 = P_5^{1/k-1} \times T_4 \qquad (5.18)$$

denklemi ile ifadelendirebiliriz. Teorik Otto çevriminde izantropik sıkıştırma başlangıcı ve izantropik genleşme sonu değerleri hesaplanırken sıkıştırma oranından faydalanılır. Fakat dizel ve karma çevrimler de izantropik genleşme başladığında piston ÜÖN'den aşağıda olduğu için sıkıştırma oranı kullanılmaz.

5.6. Sabit Hacimde Soğutma

Teorik karma çevrimde, izantropik genleşmeden sonra çalışma maddesinin sıcaklık ve basıncı, başlangıç noktasındaki sıcaklık ve basınç değerlerinden yüksektir. Çevrimin tersinir olabilmesi için çalışma maddesinin çevrim sonunda başlangıçtaki özelliklerine sahip olması gerektiğinden, sabit hacimde sistemden dışarıya ısı atılarak çalışma maddesi soğutulur ve başlangıçtaki şartlara geri dönüş sağlanmış olur. Burada hacim sabit olacağından, genleşme sonu sıcaklık ve basıncı ile başlangıç sıcaklık ve basıncı arasında ideal gaz denklemi kullanılarak aşağıdaki bağıntılar kurulur:

$\frac{P_1 \times V_1}{T_1} = \frac{P_5 \times V_5}{T_5} \Rightarrow$ dış ortama ısı atma işlemi (piston AÖN'de iken) sabit hacimde olduğundan $V_1=V_5$ tir gerekli sadeleştirme yapılırsa,

$$\frac{P_5}{T_5} = \frac{P_1}{T_1} \text{ ve } \qquad \frac{T_5}{T_1} = \frac{P_5}{P_1} = r_V \times r_P^k \qquad (5.19)$$

denklemi elde edilir. Bu denklemler de teorik Otto ve dizel çevrimleri denklemleri ile benzerdir. Her üç çevrimde de sabit hacimde sistemden ısı atılmaktadır ve bağıntılar benzerdir.

5.7. Teorik Karma Çevrim Verimi

Öğrenme Faaliyeti 1'de bir makinenin verimi hesaplanırken makineye verilen toplam enerji ve bu enerji karşılığında makineden alınan net işin dikkate alındığı, makineden alınan

net işin, makineye verilen enerjiye oranının makinenin ısıl verimini ortaya koyduğunu belirtilmiştik.

Teorik karma çevrimde, sisteme sabit hacim ve sabit basınçta ısı verilmekte (Şekil 1.1'de 2-3 ve 4-5 noktaları arasında) ve sistemden dışarıya ısı sabit hacimde atılmaktadır (Şekil 1.1'de 5-1 noktaları arasında). O hâlde teorik karma çevrim verimini bulabilmemiz için sisteme verilen ısıyı ve sistemden atılan ısıyı bulmamız gerekmektedir. Sabit hacimde ve sabit basınçta sisteme verilen ısılar Q_V=sabit hacimde, Q_P=sabit basınçta aşağıdaki denklemlerle hesaplanır:

$$Q_V = m \times c_V \times (T_3 - T_2) \tag{5.20}$$

$$Q_P = m \times c_P \times (T_4 - T_3) \tag{5.21}$$

Sistemden sabit hacimde atılan ısı (Q_{out}) aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$Q_{out} = m \times c_V \times (T_5 - T_1) \tag{5.22}$$

net işinde sisteme sürülen ısıdan sistemden atılan ısının farkı olduğunu biliyoruz, sisteme Q_V ve Q_P ısıları verilmekte sistemden Q_{out} ısısı atılmakta olduğundan net iş

$$W_{net} = Q_{in} - Q_{out} \Rightarrow W_{NET} = (Q_V + Q_P) - Q_{OUT} \tag{5.23}$$

olur. Şimdi sisteme verilen ısıyı ve sistemden elde edilen net işi bildiğimize göre sistemimizin ısıl verimini aşağıdaki gibi hesaplayabiliriz.

$$\eta = \frac{W_{net}}{Q_{in}} \Rightarrow \eta = \frac{Q_V + Q_P - Q_{OUT}}{Q_V + Q_P} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_V + Q_P} \tag{5.24}$$

Verim denklemini sisteme verilen ve sistemden atılan ısıların değerlerini yerine yazarak sadeleştirirsek

$$\eta = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_V + Q_P} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{m \times c_V \times (T_5 - T_1)}{m \times c_V \times (T_3 - T_2) + m \times c_P \times (T_4 - T_3)}$$

yukarıdaki verim denkleminde kütle sabit olduğundan denklem de sadeleşir, denklem c_v parantezine alınır ve sıcaklıklarda gerekli sadeleştirmeler yapılırsa verim sıkıştırma basıncı, sabit hacimde basınç artışı ve sabit basınçta genleşme katsayılarına bağlı olarak aşağıdaki denklemle hesaplanabilir.

$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \left[\frac{r_V \times r_P^k - 1}{(r_V - 1) + r_V \times k \times (r_P - 1)} \right] \tag{4.25}$$

5.8. Teorik Karma Çevrim Ortalama Efektif Basınç ve Gücü

Teorik karma çevriminin ortalama efektif basıncı pistonun, kurs boyunca üzerine etki eden ortalama basıncı ifade etmektedir. Bu da P_e ile ifade edilir ve elde edilen net işin kurs hacmine bölünmesiyle bulunur. Otto ve dizel çevriminin ortalama efektif basınçları da bu şekilde hesaplanıyordu.

$$P_e = \frac{W_{net}}{V_H} \qquad (5.26)$$

Burada, P_e ortalama efektif basıncı kPa, W_{net} yapılan net işi kJ, V_H kurs hacmini m^3, olarak göstermektedir. Bu çevrime göre çalışan motorun gücü de Otto ve dizel çevrimine göre çalışan motorların güçleri ile aynı denklem kullanılarak hesaplanır.

$$N_E = \frac{W_{net} \times n \times z}{60 \times i} \qquad (5.27)$$

Bu denklemde N gücü kW olarak n motorun dakikadaki devir sayısını devir/dakika olarak vermektedir. 60 sabit sayısı dakikanın saniyeye çevrilmesi için kullanılmıştır, i sayısı ise dört zamanlı motorlarda 2 (krank milinin iki turunda bir çevrim tamamlandığı için), iki zamanlı motorlarda 1 (krank milinin her turunda bir çevrim tamamlandığı için) olarak alınır.

UYGULAMA FAALİYETİ

Teorik karma çevrim ile ilgili hesaplamaları yapınız.

Tavsiyeler:

Problemler çözülürken öncelikle verilenler, birimleri ile birlikte yazılmalı ve birimlerde gerekli çevirmeler yapılmalı, daha sonra istenenler yazılarak istenenlerin işlem sırası, yani çözüm sıraları incelenmeli ve en uygun çözüm sırası seçildikten sonra çözüme geçilmelidir. Bulunan her sonucun birimi mutlaka belirtilmelidir. Bu, sizin problemleri, kavramları daha iyi ve kalıcı bir şekilde öğrenmenizi sağlayacaktır.

Uygulama 1.

Teorik karma çevrime göre çalışan 4 zamanlı ve 4 silindirli bir motorun silindir çapı 80 mm, kursu 100 mm'dir. Sıkıştırma oranı 16/1 olan motorda sisteme ısı verilmesi işlemi kurs hacminin % 5'inde sona ermektedir. Çevrim başlangıcında havanın mutlak sıcaklığı 300 K, basıncı 100 kPa'dır. Motorun basınç artma oranı 1.6 ise;

a) Kurs ve yanma odası hacimlerini,
b) Sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığını,
c) Sabit hacimde yanma sonu basınç ve sıcaklığını,
d) Sabit basınçta yanma sonu hacim ve sıcaklığını,
e) Püskürtme oranını,
f) Genişleme sonu basınç ve sıcaklığını,
g) Çevrimin verimini,
h) Çevrimin net işini,
i) Çevrimin ortalama basıncını,
j) Bu çevrime göre çalışan motorun 2400 devirde gücünü hesaplayınız.

c_v=0.718 kJ/kgK c_p=1.005 kJ/kgK R=0.287 kJ/kgK ve k=1.4'tür.

Verilenler:
D=80 mm=0.08 m
L=100 mm= 0.1 m
ε =16/1
r_v=1.6
T_1=300 K
P_1=100 kPa

Bu örneğimizde istenenler incelenecek olursa çözüm için uygun sırada oldukları görülür. Dolayısıyla a şıkkından başlayarak soruyu çözeceğiz.

a) $V_H = \frac{\pi \times D^2}{4} \times L \Rightarrow V_H = \frac{3.14 \times 0.08^2}{4} \times 0.1 \Rightarrow V_H = 5.024 \times 10^{-4}\, m^3$

$$\varepsilon = \frac{V_H + V_C}{V_C} \Rightarrow V_C = \frac{V_H}{\varepsilon - 1} \Rightarrow V_C = \frac{5.024 \times 10^{-4}}{16 - 1} \Rightarrow V_C = 0.335 \times 10^{-4} \ m^3$$

b) $P_2 = P_1 \times \varepsilon^k \Rightarrow P_2 = 100 \times 16^{1.4} \Rightarrow P_2 = 4850 \ kPa$

$$T_2 = T_1 \times \varepsilon^{k-1} \Rightarrow T_2 = 300 \times 16^{1.4-1} \Rightarrow T_2 = 909 \ K$$

c) $P_3 = r_V \times P_2 \Rightarrow P_3 = 1.6 \times 4850 \Rightarrow P_3 = 7760 \ kPa$

$T_3 = r_V \times T_2 \Rightarrow T_3 = 1.6 \times 909 \Rightarrow T_3 = 1455 \ K$

d) Burada, sisteme ısı verme işlemi kurs hacminin % 5'ine kadar devam etmiştir. Kurs hacminin %5'i ile yanma odası hacmini toplarsak sabit basınçta genleşme sonrası hacmini yani V_4 ü bulmuş oluruz. V_3 yanma odası hacmi olduğundan sabit basınçta genleşme sonu sıcaklığını aşağıdaki işlemlerden sonra buluruz.

$$V_4 = V_C + (V_H \times 0.05) \Rightarrow V_4 = 0.335 \times 10^{-4} + (5.02 \times 10^{-4} \times 0.05) \Rightarrow V_4 = 0.585 \times 10^{-4} \ m^3$$

$$\frac{V_4}{V_3} = \frac{T_4}{T_3} \Rightarrow T_4 = T_3 \times \frac{V_4}{V_3} \Rightarrow T_4 = 1455 \times \frac{0.585 \times 10^{-4}}{0.334 \times 10^{-4}} \Rightarrow T_4 = 2546 \ K$$

e) $r_P = \frac{V_4}{V_3} \Rightarrow r_P = \frac{0.585 \times 10^{-4}}{0.334 \times 10^{-4}} \Rightarrow r_P = 1.75$

f) Genleşme sonu basınç ve sıcaklıkları aşağıdaki denklemleri kullanarak çözmemiz mümkün. Biz en son denklemi kullanacağız. Sizler aşağıdaki ilk iki denklemi kullanarak genleşme sonu basınç ve sıcaklık değerlerini bulunuz ve sonuçları karşılaştırınız (P_3=P_4).

$$P_5 \times V_5^k = P_4 \times V_4^k \Rightarrow P_5 = \frac{P_4 \times V_4}{V_5}$$

$$T_5 \times V_5^{k-1} = T_4 \times V_4^{k-1}$$

$$\frac{T_5}{T_1} = \frac{P_5}{P_1} = r_V \times r_P^k$$

$P_5 = P_1 \times r_V \times r_P^k \Rightarrow P_5 = 100 \times 1.6 \times 1.75^{1.4} \Rightarrow P_5 = 350 \ kPa$

$T_5 = T_1 \times r_V \times r_P^k \Rightarrow T_5 = 300 \times 1.6 \times 1.75^{1.4} \Rightarrow T_5 = 1050 \ ^0K$

g)

$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}\left[\frac{r_V \times r_P^k - 1}{(r_V - 1) + r_V \times k \times (r_P - 1)}\right] \Rightarrow \eta = 1 - \frac{1}{16^{1.4-1}}\left[\frac{1.6 \times 1.75^{1,4} - 1}{(1.6-1) + 1.4 \times 1.6 \times (1.75-1)}\right] \Rightarrow$$

$\eta = 64$ olur verim % 64'tür.

h) Çevrimin net işini, çevrime verilen ısılardan çevrimden atılan ısıyı çıkararak hesaplıyorduk. Çevrime verilen ve atılan ısıların hesaplanması için çalışma maddesi olan havanın kütlesinin bulunması gerekli olduğundan öncelikle havanın kütlesini bulalım.

İdeal gaz denkleminden,

$$m = \frac{P_1 \times V_1}{R \times T_1} \Rightarrow m = \frac{100 \times 16 \times 0.334 \times 10^{-4}}{0.287 \times 300} \Rightarrow m = 6.21 \times 10^{-4}\,\text{kg}$$

$$Q_V = m \times c_V \times (T_3 - T_2) \Rightarrow Q_V = 6.21 \times 10^{-4} \times 0.718 \times (1455 - 909) \Rightarrow Q_V = 0.2434\ \text{kJ}$$

$$Q_P = m \times c_P \times (T_4 - T_3) \Rightarrow Q_P = 6.21 \times 10^{-4} \times 1.005 \times (2546 - 1455) \Rightarrow Q_P = 0.6808\ \text{kJ}$$

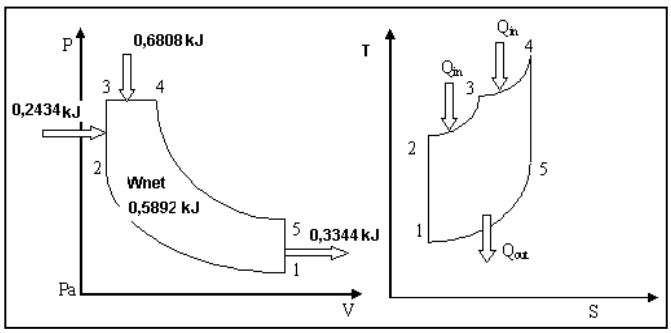
$$Q_{out} = m \times c_V \times (T_5 - T_1) \Rightarrow Q_{OUT} = 6.21 \times 10^{-4} \times 0.718 \times (1050 - 300) \Rightarrow Q_{OUT} = 0.3344\ \text{kJ}$$

net işinde, sisteme sürülen ısıdan sistemden atılan ısının farkı olduğunu biliyoruz. Sisteme Q_V ve Q_P ısıları verilmekte, sistemden Q_{out} ısısı atılmakta olduğundan net iş;

$$W_{NET} = (Q_V + Q_P) - Q_{OUT} \Rightarrow W_{NET} = (0.2434 + 0.6808) - 0.3344 \Rightarrow W_{NET} = 0.5892\ \text{kJ}$$

i) $$P_E = \frac{W_{net}}{V_H} \Rightarrow P_E = \frac{0.5892}{16 \times 0.334 \times 10^{-4}} \Rightarrow P_E = 1173.7\,\text{kPa}$$

j) $$N_E = \frac{W_{net} \times n \times z}{60 \times i} \Rightarrow N_E = \frac{0.5892 \times 2400 \times 4}{60 \times 2} \Rightarrow N_E = 49.1\,\text{kW olur.}$$



Karma çevrim P-V ve T-S diyagramları

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. ( ) Teorik karma çevrimde sisteme ısı sabit sıcaklıkta verilir.

2. ( ) Teorik karma çevrimde verim sıkıştırma oranı, basınç artma oranı ve hacimsel genleşme oranlarına bağlı olarak değişir.

3. ( ) Teorik karma çevriminin verimi sıkıştırma oranından etkilenmez.

4. ( ) Teorik karma çevrimde sistemden ısı sabit basınçta atılır.

5. ( ) Teorik karma çevrimde izotermik hâl değişimi vardır.

6. ( ) Teorik karma çevrimde sisteme ısı, sabit sıcaklıkta verilir.

7. ( ) Teorik karma çevrimde hesaplamalar yapılırken çevrimde kullanılan ara akışkan mükemmel gaz kabul edilir.

8. ( ) Teorik karma çevrimde, dış ortamla madde alışverişi yapılmaktadır.

9. ( ) Teorik karma çevrimde, basınç artma oranı sisteme verilen ısı ile doğru orantılıdır.

10. ( ) Teorik karma çevrimde, sabit basınçta genleşme oranı sisteme verilen ısıdan bağımsızdır.

11. ( ) Teorik karma çevrim, bir nevi teorik Otto ve dizel çevrimi birleşimidir.

12. ( ) Günümüzdeki dizel motorlarında kullanılan çevrim, teorik karma çevrime benzemektedir.

Aşağıdaki problemleri çözerek sonuçlarını cevap anahtarı ile karşılaştırınız.

13. Teorik karma çevrime göre çalışan 2 zamanlı ve 2 silindirli bir motorun silindir çapı 100 mm, kursu 120 mm'dir. Sıkıştırma oranı 18/1 olan motorda, sisteme ısı verilme işlemi kurs hacminin % 6'sında sona ermektedir. Çevrim başlangıcında havanın mutlak sıcaklığı 320 K, basıncı 97 kPa'dır. Motorun basınç artma oranı 1.6 ise;

- Kurs ve yanma odası hacimlerini,
- Sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığını,
- Sabit hacimde yanma sonu basınç ve sıcaklığını,
- Sabit basınçta yanma sonu hacim ve sıcaklığını,
- Püskürtme oranını,
- Genişleme sonu basınç ve sıcaklığını,
- Çevrimin verimini,

- Çevrimin net işini,
- Çevrimin ortalama basıncını,
- Bu çevrime göre çalışan motorun 2400 devirde gücünü hesaplayınız.

c_v=0.718 kJ/kgK c_p=1.005 kJ/kgK R=0.287 kJ/kgK ve k=1.4'tür.

14. Teorik karma çevrime göre çalışan bir motorun silindir çapı 80 mm, kursu 90 mm'dir. Sıkıştırma oranı 21/1 olan motorda genleşme oranı 1,8, çevrim başlangıcında havanın mutlak sıcaklığı 300 K, basıncı 100 kPa'dır. Motorun basınç artma oranı 1.6 ise;

- Kurs ve yanma odası hacimlerini,
- Sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığını,
- Sabit hacimde yanma sonu basınç ve sıcaklığını,
- Sabit basınçta yanma sonu hacim ve sıcaklığını,
- Genişleme sonu basınç ve sıcaklığını,
- Çevrimin verimini,
- Çevrimin net işini,
- Çevrimin ortalama basıncını hesaplayınız.

c_v=0.718 kJ/kgK c_p=1.005 kJ/kgK R=0.287 kJ/kgK ve k=1.4'tür.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ–6

AMAÇ

Pratik karma çevrim ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Dizel motorları hangi pratik çevrime göre çalışırlar? Araştırınız.
- Gerçek bir P-V diyagramı nasıl elde edilir? Araştırınız.
- Püskürtme avansı ne demektir? Araştırınız.
- Hava standart gerçek çevrimlerde yapılan kabulleri araştırınız.
- Hacimsel verimini araştırınız.
- Bir motorun gerçek gücü nasıl ölçülür? Araştırınız.

6. PRATİK KARMA ÇEVRİM

6.1. Teorik Karma Çevrimi ile Arasındaki Farklar

Teorik çevrimle pratik çevrim birbiriyle karşılaştırıldığında teorik çevrimler için yapılan kabullerin gerçekleşmediğini belirtmiştik. Bu kabuller gerçekleşmediği için pratik çevrim teorik çevrimden farlılıklar gösterir.

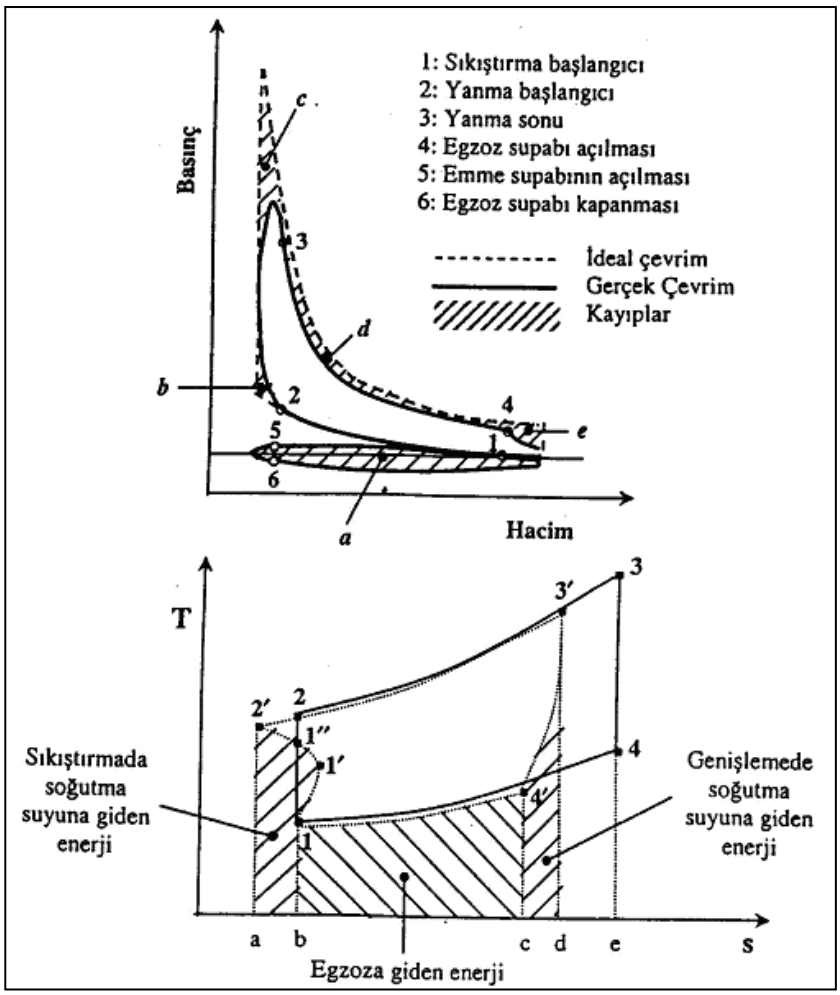
Pratik Otto ve dizel çevrimlerinin teorik çevrimlerle aralarındaki farklar: Öğrenme Faaliyeti-2 ve Öğrenme Faaliyeti-4'te, zamanlar dikkate alınarak açıklanmıştı. Karma çevrim, Otto ve dizel çevriminin bir nevi bileşimi olduğu için aynı farklar bu çevrimde de söz konusudur.

Burada, pratik karma çevrimin teorik çevrimden farklı olmasına neden olan etkenleri başlıklar hâlinde inceleyelim. Şekil 6.1'de P-V ve T-S diyagramları üzerinde farklar gösterilmiştir.

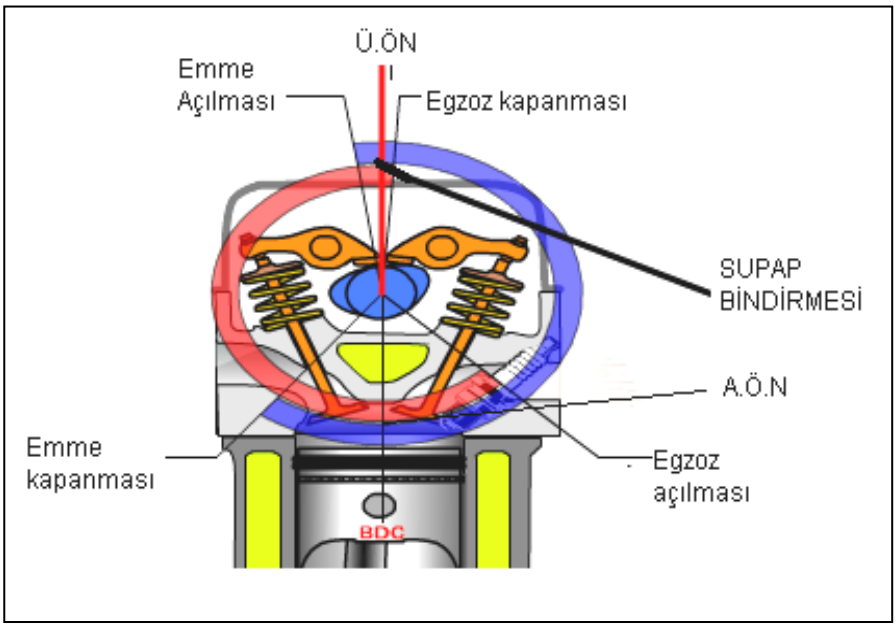
6.1.1. Yanma Süresi

Teorik sistemlerde ısının sabit hacim ve/veya sabit basınçta verildiği kabul edilir. Oysaki gerçekte yanma işlemi çok kısa da olsa bir zaman almaktadır. Bu kısa zaman zarfında piston, hareketine devam etmekte ve maksimum basıncın oluşması istenen noktadan uzaklaşmaktadır. Bu durum, güç ve verimde düşmeye neden olmaktadır. Benzinli a pompalama kayıpları, b yanma zamanı kayıpları, c yanma zamanı ve ısıl parçalanma kayıpları d genleşmede ısı kaybı, e egzoz supabı açılması ile hızlı basınç düşmesinden kaynaklanan kayıp motorlarda en yüksek verim ve güç için maksimum basıncın piston

ÜÖN'yi 10-15 ^{0}KMA geçe oluşması istenmektedir. Şekil 6.2'de yanma için gereken zamanın kazanılmasını sağlayan supap zaman diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 6.1: Teorik ve pratik karma çevrim arasındaki farklar



Şekil 6.2: Supap zaman diyagramı

6.1.2. Homojen Olmayan Karışım

Yanmanın tam olarak gerçekleşebilmesinin şartlarından birisi silindir içinde her noktadaki yakıt/hava oranın eşit olmasıdır. Gerçekte karışım tam homojen bir yapıya ulaşamaz. Bu da yanmanın kötüleşmesine, dolayısıyla maksimum basıncın düşmesine neden olarak teorik çevrimden daha düşük verim ve güç üretimine neden olur.

6.1.3. Gaz Kaçakları

Silindire alınan gazlar, sıkıştırma ve genleşme zamanları esnasında piston silindir arasından, supaplardan ve contalardan dışarıya kaçar. Bu kaçaklar, verimin ve gücün düşmesinde etkilidir.

6.1.4. Özgül Isıların Değişimi

Teorik çevrimlerde özgül ısılar (c_p ve c_v) sabit kabul edilir. Gerçekte ise sıcaklık yükseldikçe özgül ısılar da yükselir. Özgül ısının birim madde miktarının sıcaklığını 1^0 yükseltmek için gerekli ısı olduğu biliniyordu. Özgül ısının artması maksimum sıcaklığın azalmasına neden olacağından güç ve verim azalır.

6.1.5. Art Gazların Etkisi

Egzoz zamanı sonunda yanmış gazların tamamı dışarıya atılamaz. Bir miktar egzoz gazı silindirde kalır, bu gazlara art gaz denir. Art gazlar işgal ettikleri hacim ve taze dolguyu ısıtarak dolgu miktarını yani volümetrik verimi düşürür.

6.1.6. Isıl Parçalanma

Yanma sırasında oluşan yüksek sıcaklıklarda karbondioksit, ortamdan ısı alarak karbon monoksiti oluşturur, su da ısı alarak hidrojen ve oksijene dönüşür. Bu dönüşümler ters yönlü de olurlar. Bu olaya ısıl parçalanma denir. Isıl parçalanma, yanmanın kimyasal denkleminin tam olarak oluşmasını engeller ve sonuç olarak maksimum sıcaklık ve basınç düşer. Basınç ve sıcaklıktaki bu düşüş güç ve verimi azaltır.

6.1.7. Pompalama Kayıpları

Silindire taze karışım veya havanın alınması ve egzoz gazlarının atılması için bir iş yapılmaktadır. Yapılan bu işe pompalama işi denir. Sistemden enerji alınarak yapıldığından çevrimin güç ve verimini düşürür.

6.1.8. Isı Kayıpları

Gerçek çevrimlerde, çevrim boyunca dış ortama ısı kaybı söz konusudur. En fazla ısı kaybı, ısınan motor parçalarının soğutulması için soğutma sıvısı ya da gazına verilen ısıdır. Ayrıca egzozdan da dışarıya ısı atılmaktadır. Bu ısı kayıpları sonucu verim ve güçte düşme olur.

Pratik karma çevrim tam da pratik Otto ve dizel çevrimlerinin birleşimi olduğundan kritik noktalardaki değerler hesaplanırken bu çevrimlerin denklemlerinden yararlanılır.

6.2. Politropik Sıkıştırma

Pratik karma çevrimde silindire alınan havanın, silindirin ve artık egzoz gazlarının sıcaklıklarından dolayı artar. Sıkıştırma başlangıcında karışım sıcaklığı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$T_1 = (1-f)T_{in} + fT_{ex}\left[1-\left(1-\frac{P_{in}}{P_{ex}}\right)^{k-1/k}\right] \qquad (6.1)$$

denklemde;

T_1: Sıkıştırma başlangıcında karışım sıcaklığını,
f: Silindirde kalan ard gazların kütle oranını yaklaşık olarak (f=0,05),
T_{in}: Karışımın motora giriş sıcaklığını,
P_{in}: Karışımın motora giriş basıncını,
T_{ex}: Egzoz gazları sıcaklığını,
P_{ex}: Egzoz gazları basıncını,
k: Adyabatik üssü ifade etmektedir.

Genel olarak sıkıştırma başlangıcı basıncı emme basıncına çok yakındır. Dolayısıyla sıkıştırma başlangıcı basıncı P_1

$$P_1 \cong P_{in} \tag{6.2}$$

olarak alınır. Sıkıştırma sonu basıncını P_2:

$$P_2 = P_1 \times \varepsilon^{n_1} \tag{6.3}$$

elde edilir. Sıkıştırma sonu sıcaklığı T_2 :

$$T_2 = T_1 \times \varepsilon^{n_1 - 1} \tag{6.4}$$

burada,

ε : Sıkıştırma oranını,
n_1: Sıkıştırmanın politropik üssünü ifade etmektedir.

6.3. Yanma Sonu

Teorik çevrimde yanmanın sabit hacim ve sabit basınç değerlerinde gerçekleştiğinden yola çıkarak;

Sabit hacimde yanma sonu sıcaklık T_3 ve basınç P_3:

$$T_3 = T_2 + \frac{(1-f)q_{f\,2-3}}{c_V} \tag{6.5}$$

burada,

q_{f2-3}: Sabit basınçta karışımın alt ısıl değeridir (kJ/kg), birim kütle için hesaplamalar yapılırken kullanılır.

$r_V = \frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2}$ olduğunu biliyorduk buradan P_3:

$$P_3 = r_V \times P_2 \tag{6.6}$$

$$T_3 = r_V \times T_2 \tag{6.7}$$

olarak bulunur.

Sabit hacim de yanma sonu sıcaklık T_4 ve hacim V_4:

$$T_4 = T_3 + \frac{(1-f)q_{f\,3-4}}{c_P} \tag{6.8}$$

burada,

$q_{f3\text{-}4}$: Karışımın alt ısıl değeridir (kJ/kg), birim kütle için hesaplamalar yapılırken kullanılır. Gerçek çevrimlerde, karışımın yanması sonucu ortaya çıkacak ısı kullanılır. Yanma sonu çevrime verilen gerçek ısı, çevrimde yakılan yakıtın kütlesi ile yakıtın alt ısıl değerine bağlıdır.

$r_P = \frac{V_4}{V_3} = \frac{T_4}{T_3}$ olduğunu biliyorduk buradan V_3:

$$V_4 = r_P \times V_3 \tag{6.9}$$

$$T_4 = r_P \times T_3 \tag{6.10}$$

olarak bulunur.

6.4. Politropik Genleşme

Politropik genleşme sonunda;

$$P_5 \times V_5^{n_2} = P_4 \times V_4^{n_3} \tag{6.11}$$

buradan, sıcaklık ve hacim arasındaki bağıntı;

$$T_5 \times V_5^{n_2-1} = T_4 \times V_4^{n_2-1} \tag{6.12}$$

Ayrıca 4-5 noktaları arasında P ve T arasındaki ilişkiyi,

$$P_4^{1/n_2-1} \times T_5 = P_5^{1/n_2-1} \times T_4 \tag{6.13}$$

olarak ifade ederiz. Burada, n_2: genleşmenin politropik üssüdür.

6.5. Pratik Karma Çevrim Verimi

Teorik karma çevrimi veriminde izantropik üs olan "k" sabitinin yerini, politropik üs olan "n" sabiti alır. Denklemde "k" yerine "n" yazarak,

$$\eta_g = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n-1}} \left[\frac{r_V \times r_P^n - 1}{(r_V - 1) + r_V \times n(r_P - 1)} \right] \tag{6.14}$$

denklemi elde edilir. Gerçekte verimi matematiksel yöntemlerle hesaplamak, sürekli değişen çalışma koşulları ve parametrelerden dolayı çok karmaşıktır ve sonuç yine de gerçek çevrim verimini tam olarak vermez fakat çok yakındır.

6.6. Ortalama Efektif Basınç ve Güç

Motorların hepsi gerçek çevrime göre çalışmaktadır. Gerçek çevrimlerde güç, ortalama efektif basınç ve net iş ölçümleri sonunda bulunur. Ortalama efektif basınç, basınç indikatör cihazları ile ölçülürken güç ise dinamometreler kullanılarak ölçülmektedir.

Ortalama efektif basınç ve gücü bulabilmek için çevrimin net işinin bulunması gerekir. Çevrimin net işi;

$$Q_V = m \times c_V \times (T_3 - T_2)/(1-f) \tag{6.15}$$

$$Q_P = m \times c_P \times (T_4 - T_3)/(1-f) \tag{6.16}$$

Sistemden sabit hacimde atılan ısı (Q_{out}) aşağıdaki denklemle hesaplanır:

$$Q_{out} = m \times c_V \times (T_5 - T_1)/(1-f) \tag{6.17}$$

net işinde sisteme sürülen ısıdan sistemden atılan ısının farkı olduğunu biliyoruz, sisteme Q_V ve Q_P ısıları verilmekte sistemden (Q_{out}) ısısı atılmakta olduğundan net iş:

$$W_{net} = Q_{in} - Q_{out} \Rightarrow W_{NET} = (Q_V + Q_P) - Q_{OUT} \tag{6.18}$$

olur. Ortalama efektif basınç ve güç:

$$P_e = \frac{W_{net}}{V_H} \tag{6.19}$$

$$N_E = \frac{W_{net} \times n \times z}{60 \times i} \tag{6.20}$$

Bu denklemde N gücü kW olarak n motorun dakikadaki devir sayısını devir/dakika olarak vermektedir. 60 sabit sayısı dakikanın saniyeye çevrilmesi için kullanılmıştır, i sayısı ise dört zamanlı motorlarda 2 (krank milinin iki turunda bir çevrim tamamlandığı için), iki zamanlı motorlarda 1 (krank milinin her turunda bir çevrim tamamlandığı için) olarak alınır.

UYGULAMA FAALİYETİ

Pratik karma çevrim ile ilgili hesaplamaları yapınız.

Tavsiyeler:

Problemler çözülürken öncelikle verilenler, birimleri ile birlikte yazılmalı ve birimlerde gerekli çevirmeler yapılmalı, daha sonra istenenler yazılarak istenenlerin işlem sırası, yani çözüm sıraları incelenmeli ve en uygun çözüm sırası seçildikten sonra çözüme geçilmelidir. Bulunan her sonucun birimi mutlaka belirtilmelidir. Bu sizin problemleri, kavramları daha iyi ve kalıcı bir şekilde öğrenmenizi sağlayacaktır.

Uygulama 1:
Pratik karma çevrimine göre çalışan bir motorda emme başlangıcında havanın mutlak sıcaklığı 295 K, basıncı 98 kPa ve artık gazların kütle oranı 0,05 ve egzoz gazlarının mutlak sıcaklığı 700 K ise bu motorun sıkıştırma başlangıç sıcaklığını bulunuz.

Not: Emme başlangıcı basıncı, sıkıştırma başlangıcı basıncı ve egzoz basıncı yaklaşık olarak eşittir.

Verilenler:
T_{in}=295 K
T_{ex}=700 K
P_{in}= P_1= P_{ex}= 98 kPa
f=0,05

İstenenler:
T_2=?

P_{in}= P_1= P_{ex} olduğu için 6.1 numaralı denklem aşağıdaki gibi sadeleşir:

$T_1 = (1-f)T_{in} + fT_{ex}$ verilenler yerine konursa

$T_1 = (1-0{,}05)295 + 0{,}05 \times 700 \Rightarrow T_1 = 315{,}25$ K bulunur.

Uygulama 2:
Pratik karma (günümüzdeki dizel motorlar) çevrimine göre çalışan bir motorda egzoz basıncı 98 kPa, artık gazların kütle oranı 0,05 ve sıkıştırma başlangıç mutlak sıcaklığı 340 K ve sıkıştırma oranı 18/1 ise bu motorun politropik sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklıklarını bulunuz.

Not: Emme başlangıcı basıncı, sıkıştırma başlangıcı basıncı ve egzoz basıncı yaklaşık olarak eşittir. Sıkıştırmanın politropik üssü 1,39'tir.

Verilenler:
n_1=1,39
T_1=340 K
P_{in}= P_1= P_{ex}= 98 kPa
f=0,05
ε=18

İstenenler:
T_2=? ve P_2=?

Pratik dizel çevriminde sıkıştırma politropik olduğundan n_1 kullanılacaktır. 6.3 ve 6.4 numaralı denklemlerden;

$$P_2 = P_1 \times \varepsilon^{n_1} \Rightarrow P_2 = 98 \times 18^{1,39} \Rightarrow P_2 = 5445,71 \text{ kPa}$$

$$T_2 = T_1 \times \varepsilon^{n_1 - 1} \Rightarrow T_2 = 340 \times 18^{1,39-1} \Rightarrow T_2 = 1049,62 \text{ K}$$

Uygulama 3:

Pratik karma çevrimine göre çalışan dört zamanlı 4 silindirli bir motorun sıkıştırma oranı 20/1, emme başlangıcında havanın mutlak sıcaklığı 295 K, basıncı 97 kpa, sıkıştırmanın politropik üssü 1.35, politropik genleşmenin üssü 1.25, egzoz gazlarının mutlak sıcaklığı 705 K, ve basıncı 97 kPa, artık gazların kütle oranı 0,05, sabit hacimde basınç artış oranı 1,5, sabit basınçta genleşme oranı 1,5 çevrimin politropik üssü 1,4 ve yanma odası hacmi $0,304 \times 10^{-4}$ m^3 ise;

c_v=0.886 kJ/kgK c_p=1.241 kJ/kgK R=0.287 kJ/kgK

Sıkıştırma başlangıcında karışımın basınç ve sıcaklığını,

a) Politropik sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığını,
b) Çevrimin maksimum basıncını, sıcaklığını, püskürtme sonu hacmini,
c) Politropik genleşme sonu basınç ve sıcaklığını,
d) Ortalama efektif basınç ve gücünü, (2400 d/d'daki)
e) Çevrimin verimini hesaplayarak P-V diyagramını çiziniz.

Verilenler:

T_{in}=295 K
T_{ex}=695 K
P_{in}=97 kPa
P_{ex}= 97 kPa
$V_C = V_2 = 0,304 \times 10^{-4}$ m^3
f=0,05
n_1=1,35
n_2=1,25
n=1,4
ε=20
r_p=1,5
r_v=1,5

a) Sıkıştırma başlangıcı sıcaklığını 6.1 numaralı denklemden buluruz.

$$T_1 = (1-f)T_{in} + fT_{ex} \Rightarrow T_1 = (1-0,05)295 + 0,05 \times 705 \Rightarrow T_1 = 315,5 \text{ K ve } P_1 \approx P_{in} = 97 \text{ kPa}$$

b) Pratik dizel çevriminde sıkıştırma politropik olduğundan n_1 kullanılacaktır. 6.3 ve 6.4 numaralı denklemlerden;

$$P_2 = P_1 \times \varepsilon^{n_1} \Rightarrow P_2 = 97 \times 20^{1,35} \Rightarrow P_2 = 5535,56 \text{ kPa}$$

$$T_2 = T_1 \times \varepsilon^{n_1 - 1} \Rightarrow T_2 = 315,5 \times 20^{1,35-1} \Rightarrow T_2 = 900,24 \text{ K}$$

c) Çevrimin maksimum sıcaklığını bulmak için önce sabit hacimde yanma sonu sıcaklığını ve çevrimin maksimum basıncını daha sonra püskürtme (sabit basınçta genleşme) oranını kullanarak maksimum sıcaklık ve genleşme sonu hacmini bulmalıyız.

$$P_3 = r_V \times P_2 \Rightarrow P_3 = 1,5 \times 5535,56 \Rightarrow P_3 = 8308,34 \text{ kPa}$$
$$T_3 = r_V \times T_2 \Rightarrow T_3 = 1,5 \times 900,24 \Rightarrow T_3 = 1350,36 \text{ K}$$

$$V_4 = r_P \times V_2 \Rightarrow V_4 = 1,5 \times 0,304 \times 10^{-4} \Rightarrow V_3 = 0,456 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$
$$T_4 = r_P \times T_3 \Rightarrow T_4 = 1,5 \times 1350,36 \Rightarrow T_3 = 2025 \text{ K olarak bulunur.}$$

d) Silindir hacmi $V_1=V_2 \times 20$ formülünden hesaplanır. $V_1=0,304 \times 10^{-4} \times 20$ ve $V_1=6,08 \times 10^{-4}$ m^3

Diyagrama bakacak olursak $V_1=V_5$ silindir hacmi $V_H=5,776 \times 10^{-4}$

$$P_5 \times V_5^{n_2} = P_4 \times V_4^{n_2} \Rightarrow P_5 = P_4 \left(\frac{V_4}{V_5} \right)^{n_2} \Rightarrow P_5 = 8308 \left(\frac{0,456 \times 10^{-4}}{6,08 \times 10^{-4}} \right)^{1,25} \Rightarrow P_5 = 326,07 \text{ kPa}$$

buradan sıcaklık ve hacim arasındaki bağıntı:

$$T_5 \times V_5^{n-1} = T_4 \times V_4^{n-1} \Rightarrow T_5 = T_4 \left(\frac{V_4}{V_5} \right)^{n_2 - 1} \Rightarrow T_5 = 2025 \left(\frac{0,456 \times 10}{6,08 \times 10^{-4}} \right)^{1,25-1} \Rightarrow T_5 = 1059,71 \text{ K}$$

e) $m = P_1 \times V_1 / R \times T_1 \Rightarrow m = 97 \times 6,08 \times 10^{-4} / 0,287 \times 315,5 \Rightarrow m = 6,513 \times 10^{-4}$ kg

$$Q_V = m \times c_V \times (T_3 - T_2)/(1-f) \Rightarrow Q_V = 6,513 \times 10^{-4} \times 0,886(1350,36 - 900,24)/1 - 0,05 \Rightarrow$$
QV= 0,273 Kj

$$Q_P = m \times c_P \times (T_4 - T_3)/(1-f) \Rightarrow Q_P = 6,513 \times 10^{-4} \times 1,241 \times (2025 - 1350,6)/1 - 0,05 \Rightarrow$$
QP= 0,574 Kj

Sistemden sabit hacimde atılan ısı (Q_{out}) aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$Q_{out} = m \times c_V \times (T_5 - T_1)/(1-f) \Rightarrow Q_{out} = 6{,}513 \times 10^{-4} \times 0{,}886(1059{,}71 - 315{,}5)/1 - 0{,}05 \Rightarrow$$

Qout=0,452kJ

$$W_{NET} = (Q_V + Q_P) - Q_{OUT} \Rightarrow W_{NET} = (0{,}273 + 0{,}574) - 0{,}452 \Rightarrow W_{NET} = 0{,}395 \text{ kJ}$$

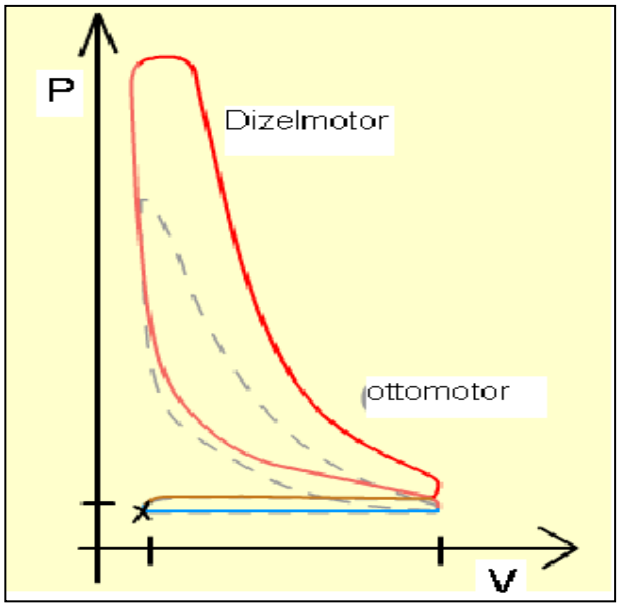
$$P_e = \frac{W_{net}}{V_H} \Rightarrow P_e = \frac{0{,}395}{5{,}776 \times 10^{-4}} \Rightarrow P_e = 683086 \text{ kPa}$$

$$N_E = \frac{W_{net} \times n \times z}{60 \times i} \Rightarrow N_E = \frac{0{,}395 \times 4 \times 2400}{60 \times 2} \Rightarrow N_E = 31{,}6 \text{ kW}$$

f)

$$\eta_g = 1 - \frac{Q_{OUT}}{Q_V + Q_P} \Rightarrow \eta_g = 1 - \frac{0{,}452}{0{,}273 + 0{,}574} \Rightarrow \eta_g = 0{,}466$$ olarak bulunur.

Şimdi çevrimin P-V diyagramını çizelim. Bu diyagramda Otto ve dizel çevrimler arasındaki farkları da incelemek için Otto çevriminin diyagramını da çizdik. Daha önce belirtildiği gibi dizel motorlar karma çevrime göre çalışır.



Otto ve dizel çevrimleri karşılaştırılması

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. ( ) Günümüz dizel motorları karma çevrimine göre çalışmaktadır.

2. ( ) Gerçek çevrimlerde verimi, özgül ısılardaki değişmeler etkilemektedir.

3. ( ) Gerçek çevrimlerde kritik noktaların basınç ve sıcaklıkları ısı kayıpları dikkate alınmadan hesaplanır.

4. ( ) Gerçek çevrim basıncı basınç indikatör cihazları ile ölçülür.

5. ( ) Homojen olmayan karışımların yanması daha düzenlidir ve yanma kimyasal olayları tam olarak gerçekleşir.

6. ( ) Gerçek çevrimlerde emme ve egzoz olayları için motordan güç çekilmez.

7. ( ) Gerçek, Otto, dizel ve karma çevrimin P-V diyagramları, teorik çevrim diyagramları kadar farklı değildir.

8. ( ) Pratik çevrim verimleri hesaplanırken soğutma suyuna olan ısı kaybı ve sürtünme kayıpları hesaba katılmaz. Bu kayıplar motor verimini etkiler.

Aşağıdaki problemleri çözerek sonuçlarını cevap anahtarı ile karşılaştırınız.

9. Pratik karma çevrimine göre çalışan dört zamanlı 4 silindirli bir motorun sıkıştırma oranı 20/1, emme başlangıcında havanın mutlak sıcaklığı 290 K, basıncı 98 kpa, sıkıştırmanın politropik üssü 1.35, politropik genleşmenin üssü 1.25, egzoz gazlarının mutlak sıcaklığı 725K ve basıncı 98 kPa, artık gazların kütle oranı 0.05, sabit hacimde basınç artış oranı 2, sabit basınçta genleşme oranı 1,7 çevrimin politropik üssü 1,4 ve yanma odası hacmi $0{,}25 \times 10^{-4}$ m^3 ise;

c_v=0.886 kJ/kgK c_p=1.241 kJ/kgK R=0.287 kJ/kgK

- Sıkıştırma başlangıcında karışımın basınç ve sıcaklığını,
- Politropik sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığını,
- Çevrimin maksimum basıncını, sıcaklığını, püskürtme sonu hacmini,
- Politropik genleşme sonu basınç ve sıcaklığını,
- Ortalama efektif basınç ve gücünü (2100 d/d'deki) bulunuz.

10. Pratik karma çevrimine göre çalışan dört zamanlı 4 silindirli bir motorun sıkıştırma oranı 18/1, emme başlangıcında havanın mutlak sıcaklığı 280 K, basıncı 98 kpa, sıkıştırmanın politropik üssü 1.35, politropik genleşmenin üssü 1.25, egzoz gazlarının mutlak sıcaklığı 695K ve basıncı 98 kPa, artık gazların kütle oranı 0,05, sabit hacimde basınç artış oranı 1,9, sabit basınçta genleşme oranı 1,65 çevrimin politropik üssü 1,4 ve yanma odası hacmi $0{,}2 \times 10^{-4}$ m^3 ise;

c_v=0.886 kJ/kgK c_p=1.241 kJ/kgK R=0.287 kJ/kgK

- Sıkıştırma başlangıcında karışımın basınç ve sıcaklığını,
- Politropik sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığını,
- Çevrimin maksimum basıncını, sıcaklığını, püskürtme sonu hacmini,
- Politropik genleşme sonu basınç ve sıcaklığını,
- Ortalama efektif basınç ve gücünü (3000 d/d'daki) bulunuz.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ–7

AMAÇ

Hidrokarbonların özelliklerini tespit edebileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Karbon ve hidrojen elementlerinin atom modellerini? Araştırınız.
- Karbon atomu kaç bağ yapar? Araştırınız.
- Hidrojen atomu kaç bağ yapar? Araştırınız.
- Hidrojen ve karbon doğada nerelerde bulunur? Araştırınız.
- Element ve bileşik terimlerine araştırınız? Araştırınız.
- Günümüzde kullanılan fosil yakıtların muhteviyatları nelerdir? Araştırınız.

7. HİDROKARBONLAR

7.1. Tanımı

İçten yanmalı motorlarda petrolden elde edilen sıvı yakıtlar kullanılmaktadır. Daha önceleri katı ve gaz yakıtlar da kullanılmış fakat petrolden elde edilen sıvı yakıtların aşağıda belirteceğimiz üstünlüklerinden dolayı gelişememişlerdir.

Petrolden elde edilen sıvı yakıtların üstünlükleri:

- Birim ağırlıklarının enerjisi yüksektir.
- Enerji çok hızlı bir şekilde ısıya dönüşebilmektedir.
- Hava ile kolay karışım oluştururlar.
- Yandıktan sonra kül bırakmazlar.
- Taşınmaları ve depolanmaları kolaydır.

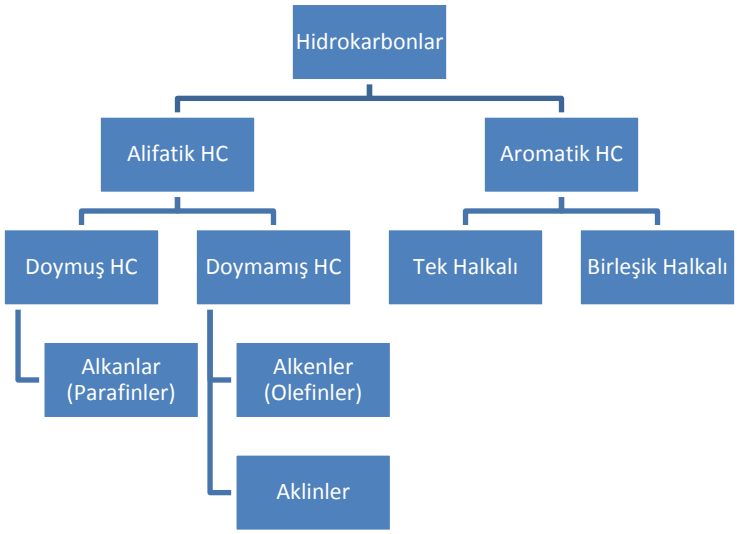
Doğada en çok bulunan elementlerin başında hidrojen ve karbon gelmektedir. Hidrojen “H” ile karbon “C” ile gösterilir. Petrolden elde edilen yakıtların kimyasal yapılarının büyük bir kısmı hidrojen ve karbondan oluşmaktadır. Karbon ve hidrojenin oluşturdukları bileşiklere (HC) hidrokarbonlar denir. C_nH_m genel ifadesiyle belirtilir. Bileşikteki karbon sayılarına, karbon ve hidrojen arasındaki bağlara göre adlandırılmaktadır. Yakıt olarak kullanılmalarının en önemli sebepleri yüksek ısıl verimleri yanında elde edilme, depolama ve taşıma işlemlerinin nispeten daha kolay olmasıdır.

Karbon atomları, elektronlarının orbitallere dağılımına bakıldığında iki bağ yapabilir görünmektedir. Fakat karbon atomu bütün bileşiklerinde dört bağ yapar. Bunun nedeni

karbon atomunun orbitallerinde meydana gelen $2P^3$ hipritleşmesidir (bk. Organik Kimya, Hidrokarbonlar). Hidrojen atomu tek valans elektronuna sahiptir ve bileşimlerinde tek bağ kurarlar.

7.2. Çeşitleri ve Özellikleri

Hidrokarbonların, karbon sayılarına, atomlar arasındaki bağların durumuna, göre sınıflandırılması Şekil 7.1'de gösterilmiştir. İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtların muhteviyatlarında aklanlar, alkenler, aklanların izomerleri ve aromatik hidrokarbonlar bulunur.

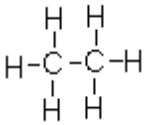


Şekil 7.1: Hidrokarbonların Sınıflandırılması

7.2.1. Alkanlar (Parafinler) C_nH_{2n+2}

Alkanlar polar olmayan bileşiklerdir. Bunun sonucu olarak moleküller arsındaki çekim kuvvetleri zayıftır. Düz zincirli alkanların bütana kadar olanları gaz, C_5ten C_{17}ye kadar olanları sıvıdır. Bulundurdukları karbon sayısına göre adlandırılır. Alkanlar polar olmadıkları için diğer alkanlarda, dietileterde ve benzen gibi polar olmayan ya da çok az polar olan çözücülerde çözünür. Alkanlar suda çözünmezler. Aşağıdaki Tablo 7.1'de on karbonluya kadar olan alkanların adlandırılması yapılmış ve açık formülleri verilmiştir.

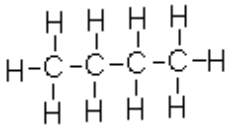
Alkanlar, C_nH_{2n+2} kapalı genel formülü ile ifade edilir. Açık formüllerinde karbonlarla hidrojenler ve karbonlar arasındaki bağlar belirtilir. Aşağıda çift karbonlu bir alkan olan etanın kapalı, açık formülü ve molekül yapısı gösterilmektedir.



Şekil 7.2: Etanın molekül yapısı

C2H6, kapalı formülü, CH3CH3 açık formülü

Bütanın kapalı formülü, açık formülü ve yapısı da aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 7.3: Bütanın molekül yapısı

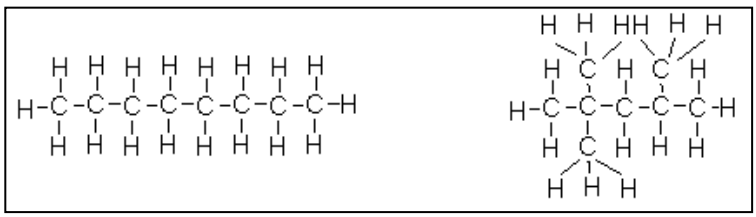
C_4H_{10}, kapalı formülü, $CH_3(CH_2)_2CH_3$ açık formülü Tablo 7.1'de gösterilmiştir.

Karbon sayısı	Yapı (Açık formül)	Ad
1	CH_4	Metan
2	$CH_3\ CH_3$	Etan
3	$CH_3\ CH_2\ CH_3$	Propan
4	$CH_3\ (CH_2\ )_2CH_3$	Bütan
5	$CH_3\ (CH_2\ )_3CH_3$	Pentan
6	$CH_3\ (CH_2\ )_4CH_3$	Heksan
7	$CH_3\ (CH_2\ )_5CH_3$	Heptan
8	$CH_3\ (CH_2\ )_6CH_3$	Oktan
9	$CH_3\ (CH_2\ )_7CH_3$	Nonan
10	$CH_3\ (CH_2\ )_8CH_3$	Dekan

Tablo 7.1: Molekül yapısı, C_4H_{10}, kapalı formülü, $CH_3\ (CH_2\ )_2CH_3$ açık formülü

Alkanların kaynama noktaları zincire ilave edilen her bir metilen (CH_2) grubu ile yaklaşık 30^0C artar. Kaynama noktasındaki bu artış, ilke olarak moleküllerin artan zincir uzunluklarındaki Van der Waals çekimlerinin artmasından kaynaklanır. Bazı alkanların kaynama noktaları aşağıdaki Tablo 7.2'de verilmiştir.

Aynı C ve H sayılarına sahip olmalarına rağmen, dallanmış zincir şekline sahip olan aklanlara izo alkanlar denmektedir. Yapılarından dolayı kimyasal özellikleri normal alkanlardan farklıdır. Örnek olarak oktan ve izomerini alalım. Molekül yapıları arasındaki farklar aşağıda gösterilmiştir. Oktanın molekül yapısı düz zincir iken izo oktan dallanmış zincirli bir yapıya sahiptir.



Normal Oktan İzo-oktan

Şekil 7.4: Normal Oktan ve İzo-oktan molekül yapısı

Ad	Kn °C
Metan	-162
Etan	-88,5
Propan	-42
Bütan	0
Pentan	36
Heksan	69
Heptan	98
Oktan	126
Nonan	151
Dekan	174

Tablo 7.2: Bazı alkanların kaynama noktaları

Benzinli motorlarda kullanılan yakıtlarda oktan sayısı önemlidir. Oktan sayısı iki referans yakıtla tarif edilir.

- i-oktan C_8H_{18} (trimetilpentan) OS= 100
- n-Heptan C_7H_{16} OS= 0'dır.

Oktan sayısı (OS) tarifinden anlaşılacağı gibi alkanlar tek başlarına iyi bir benzinli motor yakıtı değildir.

Oktan sayısı 90 demek % 90'ı i-oktan ve %10'u n-heptan olan veya bu karışımın eş değer kritik sıkıştırma oranı özelliklerini gösteren yakıt anlaşılır.

Dizel motorlarda kullanılan yakıtlarda setan sayısı önemlidir. Setan sayısını da iki referans yakıtla tarif edebiliriz.

- Hekzadekan (normal setan) $C_{16}H_{34}$ SS= 100
- Heptametilnonan $C_{16}H_{34}$ SS= 15

Setan sayısı yakıtın tutuşabilme kabiliyetini belirtir ve dizel motorları için yüksek setan sayısı istenir. Setan sayısı (SS) tarifinden alkanların tek başlarına iyi bir dizel motoru yakıtı olduğu anlaşılır.

Alkanlar oksijenle yandıklarında karbondioksit ve su ile birlikte büyük bir ısı açığa çıkar. Alkanların teorik tam yanma denklemi aşağıdaki gibidir:

$C_nH_{2n+2} + (3n+1)/2\ O_2 \rightarrow nCO_2 + (n+1)\ H_2O$ + ısı

7.2.2. Alkenler(Olefinler) C_nH_{2n}, C_nH_{2n-2}

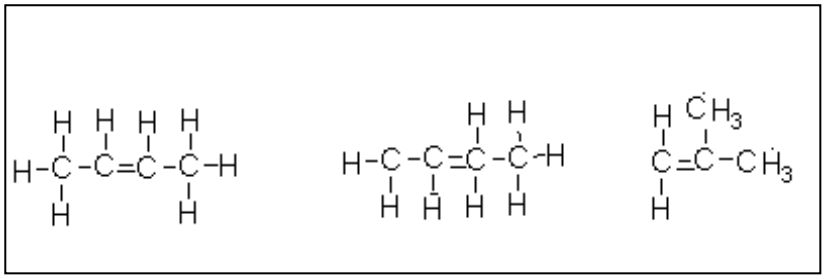
Karbon atomları, bağ kurabilecekleri maksimum hidrojen atomuna sahip olmadıklarından doymamış hidrokarbondur. Ayrıca çift bağlı molekül içerir. Doymamış olmalarından dolayı hidrojenle çok kolay reaksiyona girerek alkanları (parafinler) ve

naftenleri oluştururlar. Adlandırılmalarında en uzun C zinciri seçilir, en küçük numara çift bağı taşıyan C atomuna gelecek şekilde karbonlar numaralandırılır. Çift bağın yeri belirtilerek C sayısının Latincesi söylenir. Karbon numarasının sonuna "en" takısı alır. 1-4 karbonlular gaz, 5-15 karbonlular sıvı daha yüksek sayıda karbona sahip olanlar katı hâlde bulunur.

Tek çift bağa sahip olan olefinler monoolefinler, iki çift bağa sahip olan olefinler di-olefinler adını almaktadır.

Alkinlerinde genel formülleri; C_nH_{2n-2} dir. Fakat alkinler bir üs bağa sahiptirler ve son ekleri "in" dir.

Aşağıda bazı olefinlerin molekül yapıları verilmiştir.



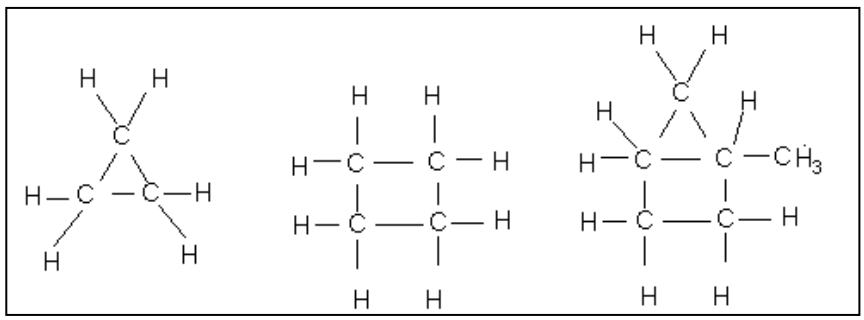
2-Buten CH_4 Buten-1 (Bütilen) İzo-büten veya 2 metil propan

Şekil 7.5: 2-Buten- 1-buten ve izo-büten veya 2 metil propanın molekül yapısı

7.2.3. Naftenler (Sikloparafinler, Siklonlar) C_nH_{2n}

Naftenler, monoolefinlerle aynı kapalı formüle sahip olmalarına karşı halka şeklinde doymuş HC'lardır. Naftenler benzedikleri parafinin isminin başına "siklo" ön takısı eklenerek isimlendirilir. Ham petrolün ¼'ü kadarı naftenik bileşiklerdir. Benzin içinde istenen HC'lerdendir.

Aşağıda bazı naftenlerin molekül yapıları verilmiştir.



Siklopropan Siklobütan Metilsiklopentan

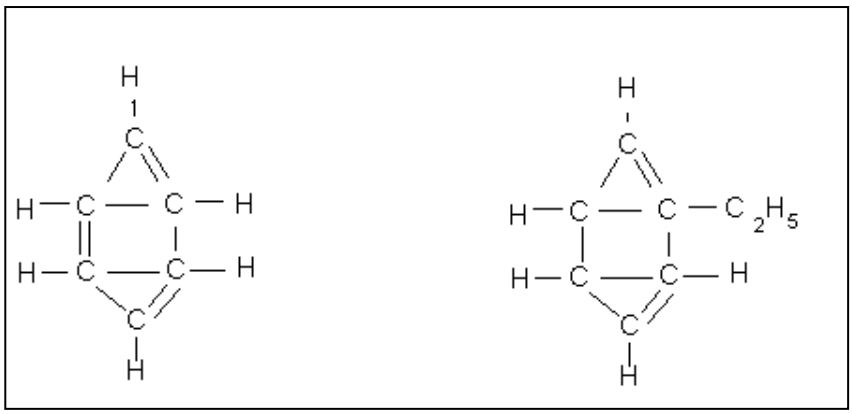
C_3H_6 C_4H_8 C_6H_{12}

Şekil 7.6: 2- Siklopropan, Siklobütan ve Metilsiklopentanın molekül yapısı

7.2.4. Aromatikler (Benzen Türevleri) C_nH_{2n-6}

Esas yapılarında altı karbon bulunan, benzen yapısına H veya H ve C'den oluşan grupların bağlandığı hidrokarbonlardır. Benzen halkasındaki çift bağlar sabit değildir. Bundan dolayı değişik sınır formülleri ile gösterilebilir. Aşağıda farklı sınır formülleri gösterilmiştir.

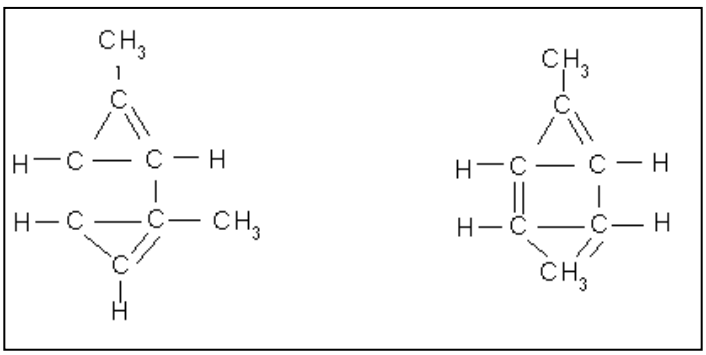
Sınır formülleri birbirleri ile eş değerdir. Bu özelliğinden dolayı molekül kararlılık kazanmıştır. Reaksiyonlarında birleşme olmaz, sadece grupları yer değiştirir. Bu da özelliğinin korunması anlamına gelmektedir. Karalılıklarından dolayı benzinli motorlarda sıkıştırma işlemi sırasında reaksiyonlara karşı mukavimdirler. Oktan sayılar (OS) yüksektir. Benzen halkasından bir H çıkarıldığında "fenil" adını alırlar. Aşağıdaki moleküllerin yapılarında çift bağların konumlarına dikkat ediniz.



Benzen C_6H_6 Etilbenzen C_8H_{10}

Şekil 7.7: 2- Benzen ve etilbenzen molekül yapısı

Benzenin ticari adı benzoldür. Benzen düşük kaliteli yakıtların OS'larını yükseltmek için kullanılan iyi bir katkı maddesidir. Hidrokarbonlar arasında yoğunluğu en yüksek olan gruptur. Yoğunluklarından dolayı jet yakıtlarına 1/4 oranında katılır. Kanserojen özelliklerinden dolayı dikkat edilmesi gereken maddelerdendir.



m-ksilen C_8H_{10} p-ksiklen C_8H_{10}

Şekil 7.8: 2- m-ksilen ve p-ksiklen molekül yapısı

Günümüzde içten yanmalı motorlarda petrol ve türevlerinden elde edilen HC'ler yakıt olarak kullanılmaktadır. Buji ile ateşlemeli motorlarda benzin, LPG (sıvı petrol gazı) (propan, bütan karışımı), jet motorlarında kerozen, dizel motorlarda motorin, ağır dizellerde mazot kullanılmaktadır.

Alternatif yakıtların araştırılması sürmektedir. Yakın gelecekte petrol türevleri olan HC'lerin yerini alacak yeni bir yakıttan söz edilemez. Fakat hidrojenin tek başına yakıt olarak kullanılmasına yönelik çalışmalar hız kazanarak devam etmektedir.

Yakıt Adı	**ρ_y (15°C) kg/dm^3**	**Alt ısıl değeri H_u kJ/kg**	**Kaynama Noktası aralığı 1 bar(°C)**	**Tutuşma Sınırı λ**	**YOS**	**MOS**	**SS**	**Stokyometrik Karışım**		
								M_k kg/kmol	**H/Y kütlesel**	**$H_{u,k}$ kj/kg**
Normal Benzin	0,726	43932	30-181	0,40-1,40	98	88	8	30,3	14,97	220,5
Süper Benzin	0,746	43304	32-186	0,40-1,40	92	84	14	30,3	14,93	222,4
Dizel Yakıtı	0,830	42450	177-356	0,48-1,35	-	-	45-55	30,5	15,02	205,9
Ağır Yakıt	0,954	41379	175-450	0,50-1,35	-	-	34-44	30,7	14,93	210,5
LPG %50-50	0,540	-	-30	0,40-1,70	100	95	-	29,7	15,60	218,2
Metanol	0,796	19957	65	0,34-2,00	> 110	92	3	29,4	6,45	219,8

Tablo 7.3: Bazı yakıtların ısıl özellikleri

Motorlarda kullanılan yakıtların yoğunluk, alt ısıl değer, kaynama noktası, karışımın tutuşma sınırları [karışım oranına göre (lambda)], yol ve motor oktan sayıları, setan sayısı ve stokiyometrik karışımların, mol kütlesi, hava/yakıt oranı ve alt ısıl değerleri yukarıdaki Tablo 7.3'te gösterilmiştir. Hidrokarbon yapıları genel H ve C sayıları dikkate alınarak kullanıldığı yerler aşağıdaki Tablo 7.4'te verilmiştir.

Hidrokarbon grubu	**Yakıtın kullanıldığı yere göre adı**
C_5H_{10} C_7H_{16}	Uçak benzinleri
C_5H_{10} $C_{12}H_{26}$	Motor benzinleri (pistonlu)
C_9H_{20} $C_{14}H_{30}$	Jet yakıtı (kerosen)
$C_{12}H_{26}$ $C_{16}H_{34}$	Gaz yağı
$C_{15}H_{32}$ $C_{18}H_{38}$	Motorin
$C_{16}H_{34}$ $C_{20}H_{42}$	Madenî yağlar

Tablo 7.4: Hidrokarbon yapıları ve kullanıldığı yerler

UYGULAMA FAALİYETİ

Hidrokarbonların özelliklerini tespit ediniz.

İşlem Basamakları	Öneriler
➢ Benzini meydana getiren hidrokarbonları belirleyiniz.	➢ Hidrokarbonları belirleyiniz. ➢ Parafinik HC belirleyiniz. ➢ Etilenik (hafif) HC belirleyiniz. ➢ Naftanik HC belirleyiniz. ➢ Benzenik HC belirleyiniz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. ( ) HC'ler doğada bol miktarda bulunur.

2. ( ) Karbon atomu normalde 2 bağ kurma eğiliminde olmasına rağmen hipritleşme sonucu bütün bileşiklerinde 4 bağ yapar.

3. ( ) Birim kütle başına en yoğun enerji hidrojende mevcuttur.

4. ( ) Teorik dizel çevriminde sistemden ısı sabit hacimde atılır.

5. ( ) Bütün HC'ler normal şartlar altında katıdır.

6. ( ) Motorlarda yakıt olarak HC kullanımını yüksek ısıl verim ve nispeten kullanım kolaylığından kaynaklanmaktadır.

7. ( ) Alkanlar kararsız HC'ler olup H ile reaksiyona girer.

8. ( ) Oktan sayısı yakıtın içerisindeki i-oktan miktarı ile doğru orantılı, heptan ile ters orantılı olarak değişir.

9. ( ) Dizel motorlarında kullanılan yakıtların setan sayısının yüksek olması istenmez.

10. ( ) Yakıtın SS (setan sayısını)'yi hekzadekan miktarı belirler.

11. ( ) Jet yakıtı olarak kerozen kullanılır.

12. ( ) Karbon ve hidrojen sayıları aynı olmasına rağmen HC'ler moleküllerinin dizilişlerine göre farklı özellikler sergilemektedirler.

13. ( ) Alkanların izomerleri adlandırılırken "i" veya "izo" ön eklerini alırlar.

14. ( ) Aromatiklerin (benzen türevleri)'in kapalı genel formülü CnH2n-6 'dir.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ–8

AMAÇ

Benzinin özelliklerini tespit edebileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Akaryakıt bayilerinde satılan benzinlerin özellikleri aynı mıdır? Araştırınız.
- Benzinli bir motorun çalışma prensibini araştırınız.
- Oktan sayısı ne demektir? Araştırınız.
- Kurşunlu benzinler neden kullanımdan kaldırılmıştır? Araştırınız.
- Ülkemizde benzini hangi kuruluş üretmektedir? Araştırınız.

8. BENZİN

8.1. Tanımı

Benzin, 32-204 °C'ler arasında kaynayan, özgül ağırlığı 0,680-0,760 g/cm^3 olan renksiz ve kendine özgü kokusu bulunan bir hidrokarbonlar karışımıdır. Benzini oluşturan HC'lerdeki karbon sayısı 4-10 arasında değişir. Çok az olmakla beraber ağır ve hafif HC'ler ile petrolden gelen S (kükürt) ve N (azot) bulunduran, normal şartlar altında sıvı bir HC'dir. Benzinin içinde parafinik, etilenik, naftanik ve benzenik hidrokarbonlar bulunur.

8.2. Tarihçesi

Benzin XIX. yüzyılın son çeyreğinde Otto çevrimine göre çalışan motorlarda kullanılmıştır. Petrolün bulunmasından sonra ilk rafineri işlemleri ile elde edilen yakıtlardandır.

8.3. Yapısı

Benzin, genel formülü C_nH_m kapalı formülü ile ifade edilen HC'lerden oluşur. Benzinin yapısında özelliklerini artırmak ve renk vermek için katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bunun yanında petrolden kaynaklanan çok az miktarda ve istenmeyen kükürt ve azot gibi elementler de bulunmaktadır.

Benzinin HC yapısında;

- C_nH_{2n+2} kapalı formülü ile gösterilen parafinik HC'ler,
- C_nH_n kapalı formülü ile gösterilen etilenik (hafif) HC'ler,
- C_nH_{2n} kapalı formülü ile gösterilen naftanik HC'ler,
- C_nH_{2n-6} kapalı formülü ile gösterilen benzenik HC'ler bulunur.

Benzinli motorlarda en iyi çalışmayı sırasıyla; benzenik HC'ler, naftanik HC'ler, etilenik HC'ler ve son olarak da parafinik HC'ler sağlamaktadır. Bu cümleden anlaşılacağı gibi benzinin içindeki benzenik miktarı ne kadar yüksek ise benzin motorlar için o kadar iyi demektir. Bunu temel nedeni ise benzeniklerin yüksek oktan sayısına sahip olmalarıdır. Benzinin yapısında en az miktarda olması istenen HC grubu ise parafinlerdir. Parafinlerden en çok kullanılan heptanın, oktan sayısının sıfır olması parafinlerin benzin içindeki miktarının neden düşük tutulması gerektiğini açıklamaktadır (Öğrenme Faaliyeti-7'de bu hidrokarbonların genel yapıları ve özellikleri verilmiştir.).

Ham petrol 3800C'nin "üstünde ısıtılırsa hidrokarbonlar parçalanarak daha küçük moleküllü hidrokarbonlara dönüşürler. Bu olaya kraking denir. Örneğin, hekzadekan C16 H34 molekülü, oktan (C8 H18) ve oktan (C8 H16) moleküllerine parçalanır. Isı ve basınç altındaki bu kimyasal değişim petrolden daha fazla benzin üretilmesine imkân sağlar. Bunun için birinci artığı meydana getiren ağır hidrokarbonlara kraking uygulanır. Bu yolla petrolden elde edilen benzin oranı % 40 - % 60'a çıkar. Kraking işleminin diğer önemli bir yanı da benzinin vuruntuya karşı direncini yükseltmesidir. Ayrıca birçok yan ürünün alınmasını da sağlar.

8.4. Benzinde Aranan Özellikler

Motorlarda kullanılan benzinin bazı özelliklere sahip olması gereklidir. Bu özelliklerden bazıları motorun performansını iyileştirirken bir kısmı motorun korunması bir kısmı da aracın emniyeti için gereklidir. Benzinde bulunması gereken özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

- Soğukta motorun kolay çalışmasını sağlamalıdır.
- Buhar tamponunu önlemelidir.
- Motorun ani güç değişikliklerine cevap verebilmelidir.
- Ekonomik olmalıdır.
- Reçine teşekkülü olmamalıdır.
- Korozyona neden olacak yanma sonu artıkları olmamalıdır.
- Yağlama yağlarının özelliğini bozmamalıdır.
- Vuruntuya dayanıklı olmalıdır.

8.4.1. Soğuk Havalarda İlk Hareket ve Uçuculuk

Benzinin ve diğer sıvıların, sıvı hâlden gaz hâline geçebilme yeteneklerine uçuculuk denir. Her sıvının uçuculuğu sıcaklığa bağlı olarak değişiklik gösterir. Örneğin suyu ele alacak olursak bu sıvının uçuculuğu kaynama noktasına yaklaştıkça daha da artmaktadır. Benzinin uçuculuk kabiliyeti suya göre çok yüksektir. Bunun nedeni benzinin kaynama noktasının 32 °C gibi düşük bir değerden başlamasıdır. Benzinin içinde farklı yapılarda HC bulunduğunu belirtmiştik. HC'lerin kaynama noktaları 32-180 °C arasında değişmektedir. Buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılacak yakıtın düşük sıcaklıklarda buharlaşması istenir. Sıvının kaynama noktası düşükse uçuculuk yüksek, kaynama noktası yüksekse uçuculuk düşüktür.

Yakıtta bulunan hafif hidrokarbonların düşük sıcaklıklarda buharlaşması istenir. Özellikle soğuk motorlarda ilk hareket için yeterli miktarda yakıtın sağlanması, yakıtın uçuculuğu ile direkt olarak ilgilidir. Yakıtın uçuculuğu ne kadar iyi ise ilk hareket o oranda kolay olur. Benzinin uçuculuğu, motorun değişik çalışma koşullarına uygun bir yakıt olmasını sağlar.

8.4.2. Buhar Tamponunu Önleme

Sıvı yakıtlarda uçuculuğun çok fazla olması istenmez. Çünkü ısınan motor, yakıt sistemi elemanlarının ısısını artıracaktır ve artan sıcaklığın etkisiyle yakıt, motora ulaşmadan buharlaşacak, bu durum ise yakıt pompası veya borularında buhar tıkacı oluşmasına neden olacaktır. Bu istenmeyen bir durumdur. Benzinin uçuculuğunun bir ifadesi olan buhar basıncı en çok 37,5 °C'de 0,8 atmosfer (reid –buhar) basıncı olmalıdır. Benzinin buharlaşması uçuculuğu ile bağlantılıdır. Uçuculuk yüksek olursa buhar tıkacı oluşma olasılığı artmaktadır. Soğuk havalarda ilk hareket için yüksek uçuculuk istenirken buhar tamponunu engellemek için düşük uçuculuk istenmektedir. Motorun çalışma şartlarına göre optimum bir uçuculuk değeri mevcuttur ve bu değer benzini iyi bir yakıt yapmaktadır.

8.4.3. Motorun Ani Güç Değişimini Karşılanması

Yüksek hıza ani geçiş için gaz pedalına basıldığında, motorun emdiği hava miktarı ani olarak artar. Bu ani hava artışında motorun daha iyi hızlanabilmesi için hava içerisine daha fazla yakıt verilmelidir. Bu yakıt artışını sağlayabilmek için yakıtın uçuculuğunun yüksek olması gerekir. Benzin, ani güç değişikliklerine uyum sağlayabilecek bir uçuculuğa sahip olduğundan motorlar için uygun bir yakıttır.

8.4.4. Ekonomiklik

Motorun bütün çalışma koşullarına cevap verebilen yakıtın aynı zamanda ekonomik olması da gerekmektedir. Benzinin fazla uçucu olması buharlaşma ile yakıt kaybına neden olduğu için yakıt ekonomisi açısında dezavantaj doğurur. Bunun yanında yüksek uçuculuk, depolama zorluklarını da beraberinde getirmektedir.

8.4.5. Reçine Oluşumu (Zamk ve Vernik)

Sıvı yakıtlar, depolandıkları ortamda oksijenle reaksiyona girerek çöküntü oluşturur. Bu çöküntülere reçine denir. Bu çöküntüler yakıt sisteminde tıkanmalara yol açabileceğinden dolayı istenmez. Benzinin içindeki reçine oranı 5 mg/cm^3 ten az olmalıdır. Reçine motorda supapların yapışmasına ve yakıt kanallarının tıkanmasına neden olur. Benzin çok uzun süre bekletilirse reçine oluşumu artacağından uzun süre bekletilmemelidir.

8.4.6. Korozyon

Buji ile ateşlemeli motorlarda, yanma sonunda korozyon etkisi olan artıklar olmamalıdır. Korozif yanma sonu ürünleri kükürt miktarı ile doğru orantılı olarak artar. Bu yüzden benzindeki kükürt miktarı 0,001'den fazla olmamalıdır. Kükürt miktarının daha

yüksek olması, yanma sonunda sülfiroz asit (H_2SO_3) oluşumuna sebep olur. Bu gibi asitler metallerde korozyona sebep olarak motor parçalarının ömrünü olumsuz etkiler.

8.4.7. Yağlama Yağına Etkisi

Motorda kullanılan yakıtın uçuculuğu yeterli olmaz ise silindirlere giren yakıtın bir kısmı sıvı hâlde olur. Benzinin sıvı hâli, silindir cidarlarındaki yağın incelmesine sebep olarak yağın, yağlama görevini yapmasını engeller. Ayrıca kartere inerek yağı inceltir ve viskozitesinin düşmesine, dolayısıyla yağlama görevini yerine getirememesine neden olur. Görüldüğü gibi uçuculuk çok önemli bir özelliktir. Benzin, içeriğinde bulundurduğu farklı HC'ler sayesinde uçuculuk için değişen isteklere cevap verebilen bir yakıttır.

8.4.8. Vuruntu Dayanımı

Buji ile ateşlemeli dört zamanlı motorlarda, ikinci zaman sonunda, yanma odasında sıkışmış olan karışım buji kıvılcımı ile ateşlendiğinde karışımın normal zamanda yanmasına, normal yanma denir. Yanma odasındaki karışım tamamen yanıncaya kadar bujiden başlayan alev, dairesel halkalar hâlinde diğer kısımlara yayılmalıdır. Alevin yayılmasını sağlayan alev hızına, alevin yayılma oranı denir. Alevin yayılma hızı normalden yüksek olursa ani basınç artışları meydana gelir. Bu olaya vuruntu denir. Vuruntu, yakıtın oktan sayısıyla ilişkilidir. Oktan sayısı yüksek yakıtların vuruntu dayanımı yüksektir. Benzinin oktan sayısı kullanıldığı motorlara göre değişmektedir.

8.5 Benzine Katılan Katkılar

Benzine katılan katkı maddelerini iki grupta incelenebilir. İlk grup olarak benzinin oktan sayısını yükseltmek için kullanılan katkı maddeleri, ikinci grup olarak koruyucu amaçla kullanılan katkı maddeleri olarak sınıflandırılabilir.

8.5.1. Oktan Sayısını Artırıcı Katıklar

Benzinin üretimi sırasında kraking, reforming, polimerizasyon, izomerizasyon gibi yöntemler kullanılarak oktan sayısı yükseltilmektedir. Üretimden sonra oktan sayısını arttırmak için;

- Kurşun tetraetil bir litre benzinde en fazla 0,8 cm^3 bulunmasına izin verilen ve oktan sayısını 7-10 kadar artıran bir katkı maddesidir. Günümüzde gerek motor parçalarına olan olumsuz etkileri gerekse insan sağlığı ve çevreye verdiği zararlardan dolayı kullanımı çok azalmış, ülkemizde kullanımı yasaklanmıştır.
- Benzen ilavesi ile oktan sayısı yükselir. Genelde % 10 kadar benzen ilave edilmektedir.
- Demir penta karbonil,
- Mono metil anilin,
- Metanol ve etanol alkolleri katılarak da oktan sayısı yükseltilebilmektedir.

8.5.2. Diğer Katkılar

Motorun temizlenmesi, korunması için kullanılan katkılar ve benzine renk veren katıklardır. Bunları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- Yanma odası ve bujilerdeki birikintileri temizlemek için fosfor bileşikleri ve bromür etilen,
- Karbüratör ve manifoldlardaki birikintileri önlemek için deterjanlar,
- Reçine teşekkülünü ve kurşun tetraetilin parçalanmasını önleyici anti-oksidanlar,
- Supap ve silindirin üst kısmını yağlayıcı hafif yağlar,
- Paslanmayı önleyici anti-pas maddeler,
- Aşıntıları engellemek için etilendibromit,
- Buzlanmayı engellemek için %1 izopropilalkol, % 0,005 amonyum tuzları % 0,2 glikol veya fosfatlar,
- Benzinin donmasını engellemek için kullanılan % 1 metilalkol kullanılmaktadır.

Günümüzde hızla gelişen rekabet ortamında daha kaliteli ve temiz bir benzin için bütün şirketler farklı miktarlarda katkı maddeleri kullanmaktadır.

8.6. Oktan Sayısı

Benzinde oktan sayısı, motorun sıkıştırma oranını, dolayısıyla da verimini çok yakından ilgilendiren bir özelliktir. Oktan sayısı ne kadar yüksek olursa yakıtın vuruntu dayanımı da o kadar yüksek olmaktadır. Oktan sayısı yakıtın fiziko-kimya özellikleri yanında motorun yapısal ve işletme özellikleri ile de değişmektedir.

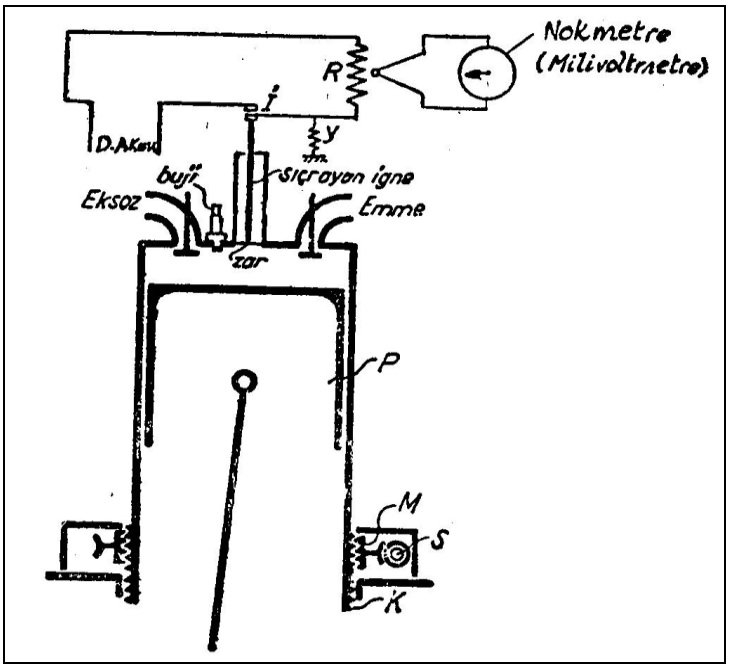
Oktan sayısının, yakıtın içindeki izo-oktan oranına bağlı olduğunu belirtmiştik. Oktan sayısını yol oktan sayısı (YOS), motor oktan sayısı (MOS), araştırma oktan sayısı (AOS) olarak üç farklı şekilde görmemiz mümkündür. (YOS), normal yol şartlarında çalışan bir motorda vuruntu sınırları dikkate alınarak belirlenirken (MOS), CFR motorunda zor şartlar altında yapılan deneyler sonucunda elde edilir. (AOS) ise daha hafif şartlarda yapılan deneysel çalışmalar sonunda elde edilen oktan sayısıdır.

AOS'si 85 olan bir yakıtın (MOS)'i 75 olabilir. Buradaki farka yakıt duyarlılığı denir ve deney şartlarındaki değişimden etkilenmeyi gösterir. YOS bulunurken deneylerin yol şartlarında yapılması söz konusudur. (YOS) genellikle (MOS)'dan küçük (AOS)'dan büyük bir değerde olmaktadır.

Oktan sayısın belirlenmesi için yapılan deneylerde motordaki vuruntu ölçülmekte ve vuruntu eğiliminin başladığı nokta, referans yakıtla karşılaştırılarak yakıtın oktan sayısı belirlenmektedir.

CFR (cooperative fuel research) yöntemi ile oktan sayısı belirlemede sıkıştırma oranı değiştirilebilinen bir motor kullanılmaktadır. Bu motora CFR motoru denir. Oktan sayısı ölçülecek yakıt CFR motorunda farklı sıkıştırma oranlarında denenir. Vuruntunun başladığı

sıkıştırma oranı tespit edildikten sonra kimyasal yollarla elde edilmiş i-oktan ve n-heptan karışımının aynı sıkıştırma oranında vuruntu başlatacak karışım oranı tespit edilir. Çıkan sonuç (MOS) olarak yakıtın oktan sayısını verir. Şekil 8.1'de sıkıştırma oranı değiştirilebilinen CFR motorunun şematik görünüşü verilmiştir.



Şekil 8.1: CFR motoru basit şematik görünüşü

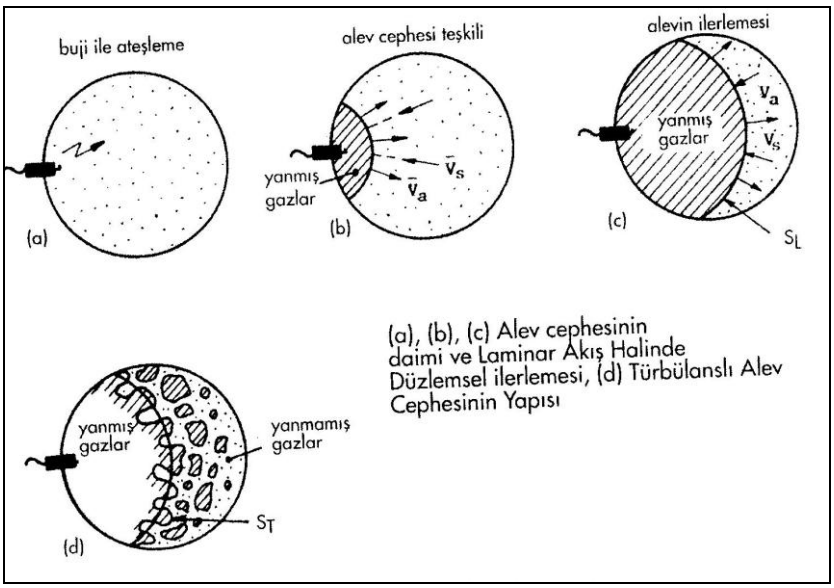
8.7. Vuruntu (Detanasyon)

8.7.1. Tanımı

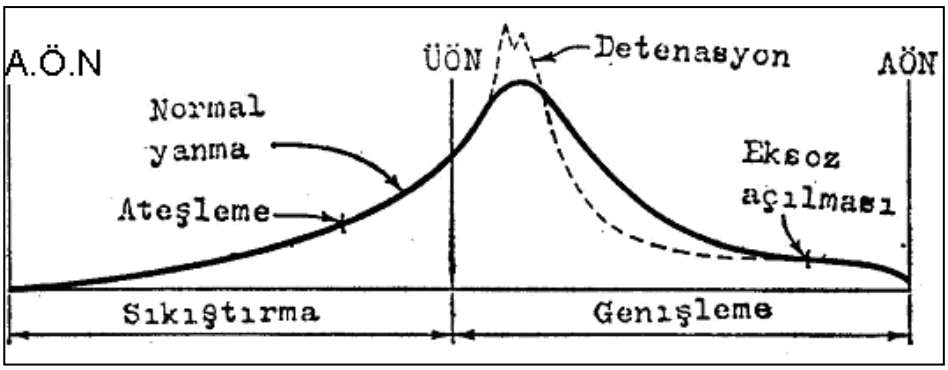
Buji ile ateşlemeli içten yanmalı pistonlu motorlarda, sıkıştırma zamanı sonunda silindirdeki hava/yakıt karışımı bir buji ile tutuşturuluyor ve açığa çıkan basınç artışı ile iş yapılmış oluyordu. Buji kıvılcımından sonra alev, dalgalar hâlinde yanma odasına yayılmaya başlar alevin yayılma hızı yaklaşık olarak 25-40 m/sn.dir. Buji tarafından oluşturulan alev cephesi yayılırken alev cephesinin dışında kalan alev cephesi yayıldıkça sıcaklığı ve basıncı artan henüz yanmamış karışıma son gaz denir. Son gaz bölgesine alev nüvesi ulaşmadan, oluşan sıcaklık ve basıncın etkisi ile son gazın tutuşması ve ikinci bir alev cephesi oluşturmasına vuruntu denmektedir. Son gazın oluşturduğu alev cephesinin hızı 500-700 m/sn. civarındadır. Bu yüksek alev yayılma hızı ve iki alev cephesinin çarpışması normalden çok daha hızlı basınç artışını beraberinde getirmektedir. İşte bu hızlı basınç artışı motorun piston ve silindir cidarlarına bir çekiçle vuruluyormuşçasına ses oluşturur. Bu ses vuruntunun anlaşılmasını sağlar.

Şekil 8.2'de normal alev cephesinin ilerleyişi ve türbülanslı alev cephesinin şematik görüntüsü verilmiştir. Şekil 8.3'te ise basınç indikatör cihazı ile vuruntunun ölçülmesi

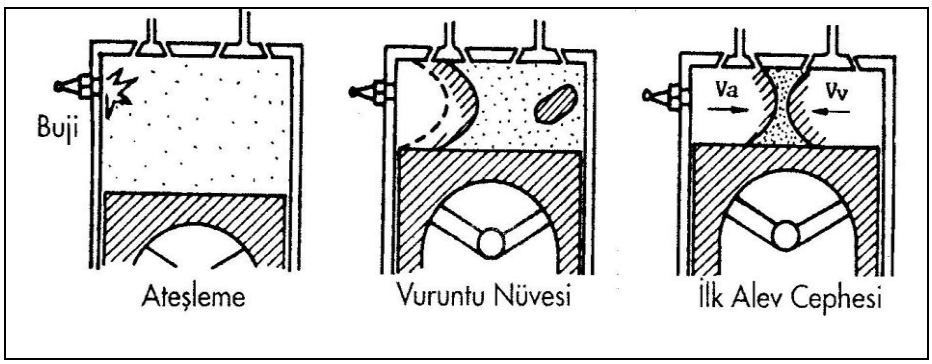
sonucu elde edilen bir diyagramı gösterilmiştir. Şekil 8.4'te ise yanma odasında vuruntunun oluşumu şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 8.2: Alev cephelerinin ilerleyişi



Şekil 8.3: Vuruntuda (detanasyon) basınç artışı



Şekil 8.4: Vuruntuda alev cephelerinin durumu

8.7.2. Motora Etkisi

Vuruntu, motorda verim düşüklüğünün yanında, oluşturduğu hızlı basınç artışı ile de motor parçalarına zarar verebilmektedir. Vuruntunun sakıncalarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Sürücü tarafından duyulabilen rahatsız edici bir ses oluşturur.
- Oluşan yüksek basınç, piston yüzeyine ani yük binmesi dolayısıyla yüksek gerilmelere ve mekanik tahribatlara neden olur.
- Oluşan yüksek basınç segmanlardan gaz sızıntısına, sızan gazlar da yağlama yağı özelliklerinin bozulmasına sebep olur.
- Güç ve verim kaybına neden olur.
- Vuruntu, yanmanın kimyasını etkileyeceğinden egzoz gazlarının da etkilenmesi söz konusu olur.

8.7.3. Vuruntunun Önlenmesi

Yüksek sıkıştırma oranları vuruntu temayülünü artırır. Bundan dolayı yakıtın vuruntu dayanımını gösteren oktan sayısına göre sıkıştırma oranı belirlenmelidir.

Motora alınan karışımın basınç ve sıcaklıklarının yüksek olması sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığının da yükselmesine, bu da tutuşma gecikmesinin azalması ile vuruntuya sebep olur. Giriş basınç ve sıcaklıkları düşük tutulmalıdır.

Motor hızı, yanma hızını artırarak ve son gaz bölgesi basınç ve sıcaklığı değiştirerek vuruntuyu etkilemektedir. Motor uygun devrinde çalıştırılmalıdır.

Mümkün olan en düşük ateşleme avansı verilmelidir. Zira artan ateşleme avansı basınç ve sıcaklık değerlerini de artırarak vuruntu eğilimini ortaya çıkarmaktadır.

Karışımdaki hava/yakıt oranı da vuruntuyu etkilemektedir. Fakir karışımlarda vuruntu meyli fazladır. Yakıt/hava oranı da optimum değerlerinde olmalıdır.

Egzoz gazların çıkış basıncı da vuruntuya etki etmektedir. Yüksek egzoz basıncı sıkıştırma sonu basıncı artırarak vuruntuya sebep olmakta, silindirde kalan egzoz gazları da miktarındaki artma vuruntu eğilimini azaltmaktadır.

Egzoz supabı her zaman sıcak olacaktır. Buji, egzoz supabına uzak olursa buradaki sıcaklıktan dolayı ikinci bir ateşleme, yani vuruntu olabilir. Bujiler egzoz supabına mümkün olduğunca yakın olmalıdır.

Yanma odasının şekli de vuruntuda önemlidir. Yanma odası yüzey/hacim oranı küçük olursa vuruntu eğilimi azalmaktadır. Örneğin küresel yanma odası gibi.

Silindirler iyi bir şeklide soğutulmalıdır. Soğutulmayan silindirde oluşan sıcak noktalar vuruntu eğilimini artırmaktadır.

8.8. Erken Ateşleme

8.8.1. Tanımı

Silindirdeki yakıt/hava karışımının buji ateşlemeden önce tutuşmasına erken ateşleme denilmektedir.

Silindirin iyi soğutulamaması, bujilerin yanlış seçilmiş olması, supap tablalarının incelmiş olması, kapak contasının yanlış takılması gibi nedenler belirtilen alanlarda ısı birikimine bu biriken ısı da erken ateşlemeye neden olmaktadır.

8.8.2. Motora Etkisi

Erken ateşleme motorda vuruntulu yanma meydana getireceğinden, vuruntunun motora verdiği zararlar erken ateşlemenin etkileriyle benzerdir.

- Sürücü tarafından duyulabilen rahatsız edici bir ses oluşturur.
- Oluşan yüksek basınç, piston yüzeyine ani yük binmesi, dolayısıyla yüksek gerilmelere ve mekanik tahribatlara neden olur.
- Oluşan yüksek basınç segmanlardan gaz sızıntısına, sızan gazlar da yağlama yağı özelliklerinin bozulmasına sebep olur.
- Güç ve verim kaybına neden olur.
- Vuruntu, yanmanın kimyasını etkileyeceğinden egzoz gazlarının da etkilenmesi söz konusu olur.

8.8.3. Vuruntunun Önlenmesi

Erken ateşleme problemlerinin büyük çoğunluğu silindirlerin iyi soğutulamamasından kaynaklanmaktadır. Öyleyse erken ateşlemenin önlenmesi için ilk olarak silindirlerin iyi bir şekilde soğutulması gerekmektedir.

Silindir içinde oluşan karbon birikintileri de akkor hâline gelerek erken ateşlemeye neden olmaktadır. Bu karbon birikintileri temizlenmeli veya oluşmasının önüne geçilmelidir.

Uygun buji kullanılmalıdır. Aksi hâlde buji elektrotları aşırı ısınarak akkor hâline gelir ve erken ateşlemeye neden olur.

UYGULAMA FAALİYETİ

Benzinin özelliklerini tespit edebileceksiniz.

İşlem Basamakları	Öneriler
➢ Benzinin nasıl elde edildiğini tespit ediniz.	➢ Ham petrolün çıkarılışını öğreniniz. ➢ Rafineri edilme yöntemleri belirleyiniz. ➢ Rafineride oluşum sırasını öğreniniz. ➢ Katılan katık maddeleri öğreniniz.
➢ Vuruntunun motora etkilerini tespit ediniz.	➢ Gürültülü çalışma var mı belirleyiniz. ➢ Mekanik tahribatı belirleyiniz. ➢ Güç kaybı var mı tespit ediniz. ➢ Egzoz emisyonunu kontrol ediniz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. ( ) Benzin; parafinler, benzenikler, naftanikler ve etilenik HC'lerdan oluşur.

2. ( ) Benzinin oktan sayısını n-heptan oranı artırır.

3. ( ) Benzine reçine oluşumunu engellemek için anti-oksidanlar ilave edilir.

4. ( ) Benzinin donmasını engellemek için metanol ilave edilir.

5. ( ) Benzinin kullanım alanında uçuculuğunun hiçbir önemi yoktur.

6. ( ) Benzindeki kükürt miktarı, yanma sonu korozif maddelerin oluşumunda önemlidir.

7. ( ) Benzinin oktan sayısının yükseltilmesi motor performansını kötü etkiler.

8. ( ) Oktan sayısı, yakıtın muhteviyatındaki i-oktan miktarı ile doğru orantılı, heptan ile ters orantılı olarak değişir.

9. ( ) CFR motoru MOS'un bulunmasında kullanılan bir deney motorudur

10. ( ) Detanasyon motor verimi ve gücünü artırır.

11. ( ) Emme basıncı ve sıcaklığı vuruntu üzerinde hiçbir etkiye sahip değildir.

12. ( ) Karışımın bujiden önce ateşlenmesine detanasyon denir.

13. ( ) Benzinin oktan sayısını artırmak için metanol ve etanol gibi alkoller ilave edilmektedir.

14. ( ) Buji ateşledikten sonra, yanma odasındaki ikinci bir ateşlemeye detanasyon denir.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ–9

AMAÇ

Motorin ile ilgili özellikleri sıralayabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Dizel motorlarında kullanılan yakıt sadece motorin midir? Araştırınız.
- Dizel bir motorun çalışma prensibini araştırınız.
- Setan sayısı ne demektir? Araştırınız.
- Dizel motorlar genellikle yük ve iş makinelerinde kullanılmaktadır? Niçin? Araştırınız.
- Dizel motorlar neden benzinli motorlara göre daha düşük hızlıdırlar? Araştırınız.

9. MOTORİN

9.1. Tanımı

Dizel motorlarında kullanılan, ham petrolün 200-380 ^{0}C dereceler arasında damıtılmasında elde edilen, özgül ağırlığı 0,89 kg/dm^3 olan bir yakıttır. Yapısındaki HC'lerda karbon sayısı 8 ile 16 arasıda değişmektedir. HC'lerin dışında % 1 kükürt, % 0,02 kül miktarına ve çok az azota müsaade edilir. Motorinlerin en düşük setan sayısı 40 olmalıdır.

9.2. Yapısı ve Özellikleri

Günümüzde üç farklı motorin kullanılmaktadır. Bunlar Nu.1-D numaralı motorin, Nu.2-D numaralı motorin ve Nu.3-D numaralı motorindir.

Nu.1-D, petrolün damıtılması ile elde edilen ve değişik hızlarda çalışan dizel motorlarında kullanılan dizel yakıtıdır.

Nu.2-D, petrolün damıtılması ve kraking ürünlerinden elde edilir. Nu.1-D'ye göre buharlaşması daha düşüktür ve daha düşük hızlı ağır hizmet ve endüstri motorlarında kullanılır.

Nu.3-D, damıtma, kraking ve bazı atıklardan oluşur. Düşük veya orta hızlı dizel motorlarında kullanılır.

Motorin petrolün bulunması ve rafineri işlemlerinin başlamasından hemen sonra kullanılmaya başlanmıştır. Benzinli motorlardaki verim ve benzinin fiyatı, daha ucuz ve daha verimli bir motor geliştirilmesini teşvik etmiştir. Geliştirilen dizel motorlarında yakıt olarak motorin kullanmışlardır.

Aşağıdaki Tablo 9.1'de üç motorinin bazı özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Özellik	1-D	2-D	3-D
Setan sayısı minimum	40	40	40
Parlama noktası ^{0}F	100	125	130
Viskozite S (saybolt) 100 ^{0}F'da	30-34	33-45	45-125
% Kül kütlesel	0,01	0,02	0,10
% Kükürt kütlesel	0,50	1,0	2,0

Tablo 9.1: Üç motorinin bazı özellikleri

9.3. Motorinde Aranan Özellikler

Dizel motorları yüksek hızlı, orta hızlı ve düşük hızlı olarak yapılmaktadır. Yüksek hızlı dizeller binek taşıtlarında, orta hızlı dizeller yük taşıtlarında ve düşük hızlı dizeller ağır iş makinelerinde kullanılmaktadır. Bu motorlarda kullanılan motorinde bazı özellikler önemlidir.

- **Vuruntu dayanımı**

Dizel motorlarda kızgın hava üzerine püskürtülen yakıtın tutuşma gecikmesinin düşük olması istenir. Tutuşma gecikmesi uzun olursa silindirde yakıt miktarı artacağından yanma daha şiddetli olur. Bu istenmeyen yüksek basınç dalgalarına ve sıcaklıklara neden olacağından motora zararlıdır. Tutuşma gecikmesi, motorinin setan sayısı ile ilişkilidir. Setan sayısı yüksek olursa tutuşma gecikmesi düşmekte, setan sayısı düşük olursa tutuşma gecikmesi artmaktadır. Setan sayısının artması is oluşumunu da artırdığından setan sayısı üst sınırı 70 alt sınırı 40 olarak belirlenmiştir. Dizel yakıtlarında dizel indeksi de setan sayısının belirtilmesinde kullanılan bir sayıdır. Aşağıdaki Tablo 9.2'de dizel indeksi ve setan sayısı arasındaki ilişki gösterilmiştir.

Dizel İndeksi	Setan Sayısı	Dizel İndeksi	Setan Sayısı
0	18	50	50
5	20	55	53
10	24	60	56
15	28	65	59
20	30	70	62
25	34	80	65
30	37	85	68
35	40	90	71
40	43	95	75
45	46	100	78

Tablo 9.2: Dizel indeksi ve setan sayısı

- **Buharlaşma**

Soğuk havalarda ilk hareket için buharlaşma iyidir. Fakat buharlaşma kendiliğinden tutuşma özelliğini kötüleştirir. Optimum bir değer tespit edilmeli ve bu değeri sağlayacak bileşenler içeren dizel kullanılmalıdır.

- **Viskozite**

Sıvıların akmaya karşı gösterdiği dirence viskozite denmektedir. Motorinde viskozite önemli bir parametredir. Çok yüksek viskozite, pompalama işini zorlaştıracağı gibi püskürtme sonrası taneciklerini iri olmasına neden olacağından tutuşma gecikmesini artırır. Ayrıca is miktarı da artar. Düşük viskozite ise iyi bir atomizasyon sağlamakla birlikte, sızdırmazlık sorunlarına ve pompa elemanlarının aşıntısına sebep olur.

- **Korozyon**

Motorinin hem kendisinin, hem de yanma sonu ürünlerinin korozyona sebep olmayacak özelliklerde olması istenmektedir. Kükürt miktarı, yanma sonunda korozyon etkisine sahip asitler oluşturduğundan mümkün olduğunca düşük olmalıdır. Yakıtta bulunan tuzlu suyunda korozyon etkisi vardır.

- **İs miktarı**

Motorin, yanma sonu ürünleri bakımından benzinden çok daha yüksek is ve kül ihtiva etmektedir. İs miktarını minimum düzeylerde tutmak için setan sayısının 70'in altında tutulması gerekirken, 40'ın altındaki setan sayısı da yanmayı kötüleştirerek kül ve is miktarının artmasına neden olmaktadır. Burada HC'lerin yanma sonucu kül ve is bırakmadan yandığı dikkate alınırsa motorinin içindeki istenmeyen fakat bulunan madenî tuzların kül ve iş bırakmada etkili olduğu görülmüştür.

- **Çinkoya karşı aktivite**

Motorin, çinko ile bileşik oluşturma temayülündedir. Çinko ile oluşturacağı bileşikler korozyon etkisine sahiptir. Özellikle çinko ihtiva eden çelik depolarda saklanırken çinko ile reaksiyona girmemesi için çinko aktivitesi mümkün olduğunca düşük olmalıdır.

- **Akma noktası**

Sıvıların akıcılıklarını kaybetmeye başladıkları sıcaklığa akma noktası denir. Motorinin akma noktası çalışma şartlarında donmayı engelleyecek ve akma kabiliyetini kaybettirmeyecek düzeyde olmalıdır. Ülkemizde kullanılan motorine mazot ismi verilmektedir. Hâlbuki mazot daha düşük devirli dizel motorlarının yakıtı olarak kullanılır. Motorinin donma noktası -10 °C iken benzinin donma noktası -65 °C'dir.

- **Alevlenme tehlikesi**

Motorin, benzine nispeten daha düşük sıcaklıklarda tutuşma kabiliyetine sahip olmasına rağmen buharlaşma özelliği daha düşük olduğu için alevlenme tehlikesi de daha düşüktür. Motorinin alevlenmesi için sıcak bir yüzey gerekirken benzinin alevlenmesi buhar tabakasının kıvılcım ile teması sonucu oluşur.

9.4. Motorine Katılan Katıklar

Motorinlerde, yakıt sistemi elemanlarının temizlenmesini sağlamak amacıyla temizleyici karışımlar, yakıt içindeki suyun dağıtılmasını sağlayıcı katkılar, setan sayısını artırıcı katkı maddeleri, kış aylarında motorinin donmasını engelleyici antifrizler ve enjektörler ile yakıt pompasını temizleyici katkı maddeleri kullanılmaktadır.

9.5. Tutuşabilirlik ve Setan Sayısı

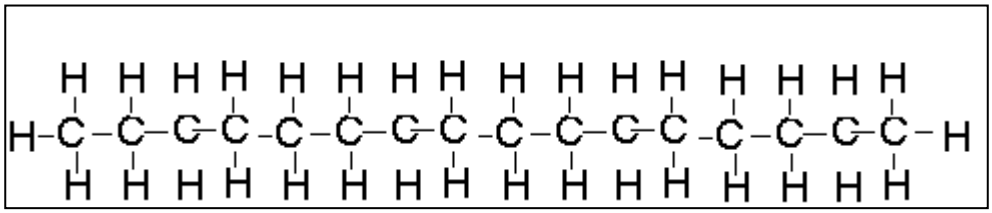
Dizel motorlarının vuruntu özellikleri, yakıtın tutuşma kabiliyetine yani setan sayısına bağlıdır.

Tutuşabilirlik, motorinin silindir içinde hava ile karışarak kendi kendine alev alabilme kabiliyetidir.

Dizel motorlarında kullanılan motorinin tutuşma kabiliyetinin yüksek olması istenir. Hatırlanacağı gibi benzinin tutuşma kabiliyetinin düşük olması istenmekte idi. Dizel motorlarının sıkıştırma zamanı sonunda kızgın hava içine püskürtülen motorinin kendi kendine tutuşması ile çalıştığını biliyoruz. Dizel motorlarında vuruntu; hava içerisine püskürtülen yakıtın tutuşma gecikmesinden dolayı birikmesi ve çok miktarda yakıtın aniden yanması sonucu oluşan yüksek basınç dalgaları ve sıcaklık olarak tanımlanır.

Motorinin tutuşma kabiliyeti, setan sayısına bağlı olarak değişmektedir. Setan sayısındaki artış tutuşma gecikmesini (TG) azaltmakta, düşük setan sayısı ise tutuşma gecikmesini artırarak dizel vuruntusuna neden olmaktadır.

Setan ($C_{16}H_{34}$) düz zincirli bir parafindir ve tutuşma kabiliyeti 100 olarak kabul edilir. Alfametilnaften'in ($C_{10}H_7\ CH_3$) tutuşma kabiliyeti "0" kabul edilmiştir. Motorinde bulunan setan ve alfametilnaften oranı motorinin setan sayısını vermektedir. % 65 setan ve % 35 alfametilnaften karışımının setan sayısı 65'tir.



Şekil 9.1:Setanın molekül yapısı

Motorin, kimya laboratuvarlarında üretilmediğinden muhteviyatındaki setan sayısı yapılan deneylerle belirlenir. Ölçülecek yakıtın setan sayısı standart motorda (CFR motoru) ölçülen TG tutuşma gecikmesi süresinin, setan alfametilnaften karışımlarının TG süreleri ile karşılaştırılması sonucu belirlenir. Aynı TG sürelerini veren karışımdaki setan yüzdesi ölçülen yakıtın setan sayısını verir. TG setan sayısı ile birlikte sıkıştırma oranına da bağlıdır. Dolayısıyla karşılaştırma yapılırken sıkıştırma oranları aynı olmalıdır. Farklı sıkıştırma oranlarında vuruntusuz çalışma için gerekli olan setan sayısındaki değişmeler, yapılan bir dizi deney sonrasında belirlenir ve ölçülen yakıtın kullanıldığı sıkıştırma oranındaki setan sayısı bulunur. Şekil 9.1'de sıkıştırma oranı ve setan sayısı değişimi bir grafikle verilmiştir.

Dizel motorlarda setan sayısı 70'in üzerinde olduğunda yanma kötüleşmekte ve is miktarı artmaktadır. Setan sayısı 40'ın altında olduğunda ise TG süresi uzamakta ve dizel vuruntusu meydana gelmektedir. Çalışma şartlarına göre dizel motorlarında kullanılacak motorinin setan sayısı 40 ile 70 arasında olmalıdır.

Setan sayısını ölçmenin daha basit bir yolu da dizel indeksini belirlemektir. Dİ (dizel indeksi) setan sayısı ilişkisi Tablo 9.2'de verilmiştir. Dİ hesaplanması için anilin noktası ve APİ özgül ağırlığının bilinmesi gerekmektedir.

Anilin noktası: Anilin, aromatik HC'leri her zaman eriten fakat parafinik HC'leri ancak ısıtıldığında eriten bir eriticidir. Bu eritici ile motorin eşit hacimlerde karıştırılır ve ısıtılır. Birbiri içinde iyice eritilen karışım soğumaya bırakılır. Soğuyan eriyik ayrışır ve iki ayrı tabaka oluşmaya (aromatik HC'ler ile anilin eriyiği ve parafinik HC'lerin tabakası) başlar, bu andaki sıcaklığa yakıtın anilin noktası denir.

APİ ve anilin noktası kullanılarak aşağıda gösterilen 9.1 numaralı denklem Dİ belirlenir.

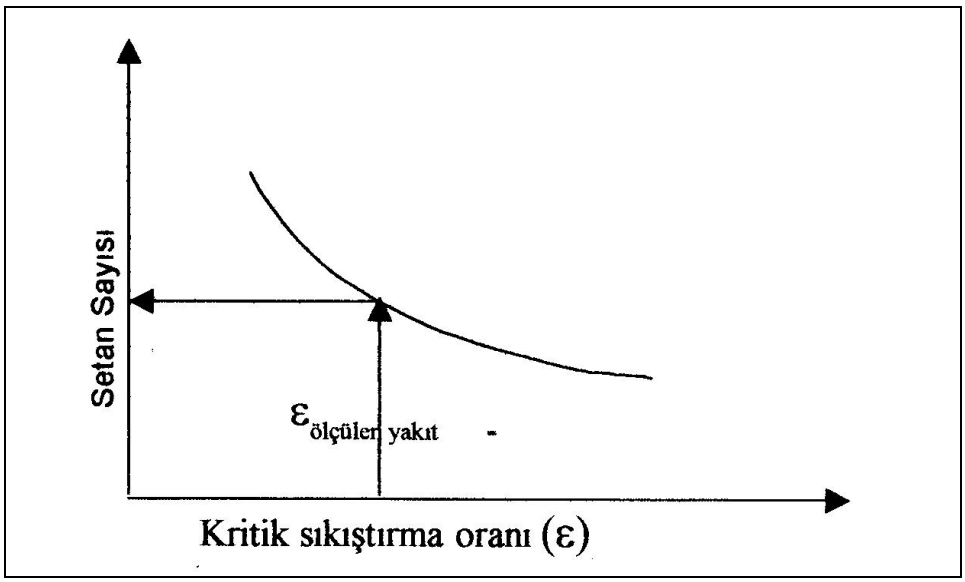
$$D\dot{I} = \frac{\text{Anilin Noktası} \times API}{100} \qquad (9.1)$$

Bugün petrol endüstrisinde petrolün özgül ağırlığı yerine A.P.I. gravite derecesi kullanılır. Petrolün özgül ağırlığı ile A.P.I. gravite derecesi arasında ters bir orantı vardır.

Gravite büyüdükçe yoğunluk küçülmekte ve petrolün kalitesi yükselmektedir. Gravite küçüldükçe yoğunluk artmakta ve petrolün kalitesi düşmektedir. A.P.I. gravite derecesi ile Ö.A. arasında aşağıdaki denklemde görüldüğü gibi bir ilişki vardır.

$$\text{APİ} = \frac{141{,}5}{\text{ÖA}/60\ \text{F}} - 131{,}5 \qquad \textit{(9.2)}$$

9.2'deki denklemde ÖA özgül ağırlığı g/cm^3 olarak belirtmektedir.



Şekil 9.2: Setan sayısı ve sıkıştırma oranı (ε) değişim

UYGULAMA FAALİYETİ

Motorinin özelliklerini tespit ediniz.

İşlem Basamakları	Öneriler
➢ Motorinin nasıl elde edildiğini tespit ediniz.	➢ Ham petrolün çıkarılışını öğreniniz. ➢ Rafineri edilme yöntemleri belirleyiniz. ➢ Rafineride oluşum sırasını öğreniniz. ➢ Katılan katık maddeleri öğreniniz.
➢ Motorinin setan sayısını tespit ediniz.	➢ Dizel indeksini belirleyiniz. ➢ Analin noktasını belirleyiniz. ➢ API özgül ağırlığını belirleyiniz. ➢

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. ( ) Motorinde bulunan HC'ler yapılarında 8-16 karbon bulunduran bileşiklerdir.

2. ( ) Motorinin setan sayısını hacimsel setan oranı belirler.

3. ( ) Motorinin tutuşma sıcaklığı benzinden daha düşüktür.

4. ( ) Motorinin parlama özelliği düşük buharlaşma oranından dolayı düşüktür.

5. ( ) Motorinin Dİ'si setan sayısını belirten bir özelliğidir.

6. ( ) Motorinin donma sıcaklığı -10 °C'dir.

7. ( ) Motorinin setan sayısı 70'in üzerine çıktığında is ve kurum oranı çok fazla artığı için setan aysısı yüksek hızlı motorlarda 70 ile sınırlandırılmıştır.

8. ( ) Motorinin akıcılığı (viskozitesi) pompalama ve yanma işlemleri için önemlidir.

9. ( ) Motorinin tutuşma kabiliyeti setan sayısı ile ters orantılıdır.

10. ( ) Anilin sayısı Dİ hesaplanırken kullanılan, motorinin içindeki aromatik ve parafinik HC'lerin oranını belirten bir sayıdır.

11. **11)** Setan sayısı, sıkıştırma oranı ile doğru orantılı olarak artar.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ–10

AMAÇ

Motorlarda kullanılan diğer yakıtlar ile ilgili özellikleri sıralayabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- LPG, hangi motorlarda kullanılmaktadır? Araştırınız.
- Doğal gazlı motorlar var mıdır? Araştırınız.
- Neden alternatif yakıtlara ihtiyaç vardır? Araştırınız.
- Sizce gelecekte hangi yakıt ve/veya yakıtlar kullanılacaktır? Araştırınız.

10. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANILAN DİĞER YAKITLAR

Artan dünya nüfusu, ekonomik büyüme, kişi başına enerji tüketiminin artması, yaşam tarzlarının değişmesi ve insanların büyük şehir merkezlerinde toplanması gibi etkenler dünyada kullanılan enerji miktarının her geçen gün artmasına neden olmaktadır. Enerji tüketimindeki bu artış başlıca iki problemi doğurmuştur. Yoğun enerji kullanımıyla oluşan çevre kirliliği ve enerji kaynaklarının sınırlılığından dolayı artan enerji fiyatlarıdır.

Dünyadaki enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılan en önemli kaynaklar: petrol, kömür, doğal gaz, hidroelektrik santraller ve nükleer santrallerdir. 1993 yılında yapılan bir araştırmada dünya enerji ihtiyacının % 85'i fosil yakacaklardan, % 14-15'i hidroelektrik santrallerinden ve % 1'i nükleer yakıtlardan elde edilmektedir. Bu enerji kaynaklarının yanında rüzgâr, güneş, dalga, biyokütle, gelgit ve jeotermal enerji gibi alternatif enerji kaynaklarının kullanımı da gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır.

İçten yanmalı motorlarda XIX. yüzyıl sonlarından itibaren yakıt olarak petrol ürünleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu motorlarda yakıt olarak petrol ürünlerinin kullanılması, petrole dayalı içten yanmalı motor teknolojisinin hızla gelişmesini, yaygınlaşmasını ve büyük bir sektör hâline gelmesini sağlamıştır. Bu gelişmelerde, petrolün motorlarda yakıt olarak kullanımının avantajlı oluşu, kolay bulunuşu ve nispeten ucuz oluşu etkili olmuştur.

Sınırlı petrol kaynaklarının ekonomik ve uzun ömürlü kullanılması, kirletici emisyonların azaltılması amacıyla içten yanmalı motorların yapılarında çok fazla değişiklik yapılmadan kullanılabilecek alternatif yakıtların araştırılması ve/veya içten yanmalı motorların yerine alternatif motorların geliştirilmesi gerekmektedir.

Günümüzde içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak LPG, doğal gaz, metanol, etanol, bitkisel yağ esterleri ve benzerleri kullanılmaktadır.

10.1. Doğal Gaz

10.1.1. Tanımı

Doğal gaz, doğal gaz kuyularında ve petrolün çıkarılması esnasında petrol kuyularında çıkan büyük çoğunluğunu metanın oluşturduğu (%90-96'sı metandır.) içinde etan, propan ve bütanın da bulunduğu tabii bir gazdır. Ester miktarlarda azot, benzen, pentan ve karbondioksit de içermektedir. Genellikle elektrik santrallerinde ve ısınmada kullanılmasına karşın sentez yolu ile benzin ve yakıt yağlarının üretilmesinin yanında içten yanmalı Otto ve dizel motorlarda da kullanılmaktadır.

10.1.2. Özellikleri ve Katılan Katıklar

Doğal gaz yanıcı, kokusuz, renksiz ve havadan hafif bir gazdır. Doğal gazı oluşturan ana unsur olan metanın oktan sayısı ROS 120 ve MOS 120'dir. Bu doğal gazın buji ile ateşlemeli motorlarda kullanımı için bir avantajdır. Doğal gazın, araçlarda yüksek basınçlı tanklarda sıkıştırılmış gaz olarak (sıkıştırılmış doğal gaz CNG) veya soğutulmuş sıvı olarak (sıvılaştırılmış doğal gaz LNG) maksimum çalışma basıncı 30-36 MPa mertebesindedir. CNG kullanımı, diğer gaz yakıtların kullanımı ile aynıdır. Aşağıdaki Tablo 10.1'de doğal gazın fiziksel ve kimyasal bazı özellikleri verilmiştir.

Özellik	Metan	Özellik	Metan
Molekül Ağırlığı	16,04	Özgül Isısı kJ/kgK	C_p=2,2537
Ergime Sıcaklığı °C	-182,6	Özgül Isı Oranı	1,113
Kaynama Sıcaklığı °C	-161,4	Gaz Sabiti	0,51835
Yoğunluk kg/m^3	0,7167	Adyabatik Alev Sıcaklığı K	2285
Kritik Sıcaklık ve Basınç °C MPa	-82,5 4,58	Oluşum Isısı MJ/kmol	-74,90
Buharlaşma Isısı kJ/kg	488,3	Oluşum Entropisi MJ/kmol K	186,3
Yanma Isısı kJ/kg	48,114.567	Doğal Gaz Molekül Ağırlığı	18,3

Tablo 10.1: Doğal gazın fiziksel ve kimyasal bazı özellikleri

Doğal gaz Otto motorlarında emme manifolduna gaz hâlinde basıncı düşürülmüş olarak verilmektedir. Emme manifodunda hava ile karışım oluşturularak silindire gönderilen doğal gaz sıkıştırma zamanı sonunda buji tarafından tutuşturulmakta ve iş elde edilmektedir. Yüksek oktan sayısı yanında yanma sonu ürünleri bakımından da benzinden daha avantajlı

bir yakıt olmasına rağmen gaz hâlinde silindire alındığı için volümetrik (hacimsel) verimi düşürmek gibi bir dezavantajı vardır.

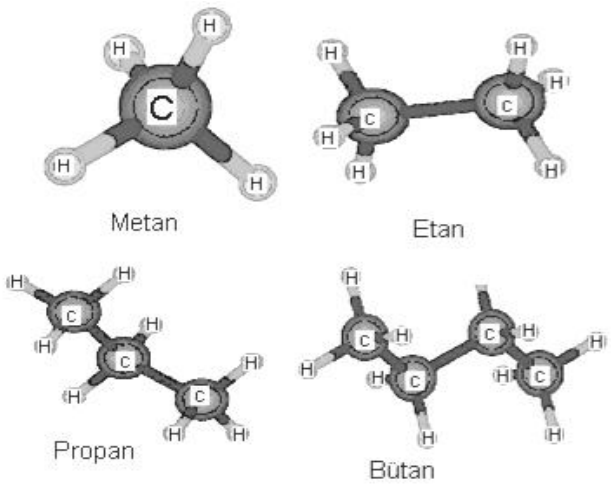
Dizel motorlarda çift yakıtlı sistemler de kullanılmaktadır. Emme manifolduna gönderilen doğal gaz hava ile karışarak silindirlere ulaşır. Sıkıştırma zamanı sonunda yakıt enjektöründen tutuşturma amacı ile pilot dizel yakıtı enjekte edilmek suretiyle yanma sağlanır. Pilot dizel yakıt yerine belirli oranlarda dizel yakıtı püskürtülerek çift yakıtla çalışma da yapılabilir.

10.2. LPG (Likit Petrol Gazı)

10.2.1. Tanımı

LPG, Liquefied Petroleum Gases (sıvılaştırılmış petrol gazları) sözcüklerinin baş harflerinden oluşan bir kısaltmadır. LPG, ham petrolün rafinerilerde benzin, mazot, gibi türevlere ayrıştırılmasıyla açığa çıkan veya bazı bölgelerde tabiattan serbest olarak çıkarılan propan ve bütan gazlarının karışımıdır.

LPG, doymuş hidrokarbonlar gurubundan parafinler (alkanlar) ve olefinler içinde yer almaktadır. Parafinlerin kapalı formülleri C_nH_{2n+2} şeklindedir. Parafin sınıfı bileşiklerin hepsi petrolde vardır ve motor yakıtlarının ana kısmanı oluşturur. Grubun ilk dört karbonluya kadar olan kısmı gaz hâlinde bulunur, basınç altında sıvılaştırılabilirler; metan, etan, propan, bütan bu grubun üyeleridir. Aşağıdaki şekilde metan, etan, propan ve bütanın atom modelleri gösterilmiştir.



Şekil 10.1: LPG molekülleri atom yapıları

10.2.2. Özellikleri ve Katılan Katıklar

LPG genellikle doğal gazdan, ham petrolün kuyulardan çıkarılması sırasında veya petrolün rafinerilerde işlenmesi sırasında ayrıştırılarak elde edilebilen bir gazdır. Dünyadaki

LPG üretiminin % 61'i doğal gaz, % 39'u petrolün rafinerilerde işlenmesi sırasında elde edilmektedir. Kömürden sentetik yollarla da LPG üretilebilir.

Ülkemizde LPG yakıtları özel hizmet propanı, ticari bütan, ticari propan ve ticari propan/bütan olarak üretilmektedir. Kullanım alnına göre bu LPG'ler, belirli oranlarda karıştırılarak istenen özellikler elde edilir. Ülkemizde yaz aylarında, %70 bütan, %30 propan karışımı, kış aylarında bazı LPG üreticisi firmalar tarafından %50 bütan, %50 propan olarak değiştirilmektedir. Aşağıdaki Tablo 10.2'de LPG yakıtlarının bazı özellikleri verilmiştir.

Özelikler		**Ticari propan**	**Ticari bütan**	**Ticari propan-bütan kr**	**Özel hizmet propanıı**
İlk kaynama noktası atmosferik basınç ^{o}C		-46	-9	-	-46
Sıvı fazın özgül ısısı (15,6^{o}C) kJ/kg ^{o}C		1366	1276	-	1366
Bir litre LPG'nin (sıvı) buhar hacmi (15,6 ^{o}C) m^{3}		0,271	0,235	-	0,271
Hava-gaz karışım patlama sınırı havada hacimce buhar yüzdesi	Alt	2,15	1,55	-	2,15
	Üst	9,60	9,60	9,60	9,60
Kaynama noktası buharlaşma ısısı	kJ/kg	430	388	-	430
	kJ/l	219	226	-	219
Alev sıcaklığı havada ^{o}C		1980	2008	-	1980

Tablo 10.2: LPG yakıtlarının bazı özellikleri

Otto motorlarında manifolda gaz hâlinde verilen LPG hava ile karışım oluşturarak silindire ulaşır. Sıkıştırma zamanı sonunda buji ile ateşlenmesi sonucu iş elde edilir.

Otto motorlarda LPG kullanımının avantaj ve dezavantajları aşağıda belirtilmiştir.

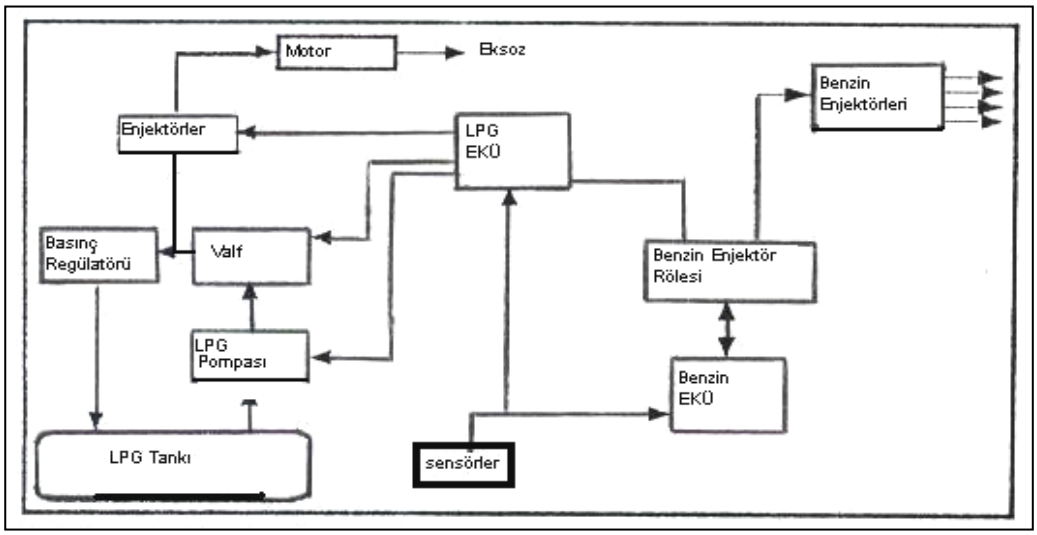
- **Avantajları**
  - Motora gaz formunda verilen LPG, homojen bir karışım oluşturacak ve emme fazında tamamen buharlaşacağından motor içerisinde termodinamik proses yakıtın buharlaşma ısısından etkilenmez.
  - LPG'nin oktan sayısının yüksek olması nedeni ile yanma hızı, benzine göre daha düşüktür. Silindirdeki basınç bölgesi daha düşük olacağından yumuşak bir yanma sağlar. Piston ve piston kolları üzerinde daha az kuvvet bırakır.
  - Soğuk tutuşma nedeniyle silindir duvarlarında yıkanma olmaz. Burada karbon artıkları söz konusu olmadığından motorun ömrü kendiliğinden uzamış olur.

- Benzin yanmalarında karbon kristalleri ve diğer yabancı partiküller silindir yüzeyini aşındırıp motor yağına karışarak motor yağının ömrünü kısaltır. Oysa LPG yanmalarında karbon kristalleri olmadığından motor yağının ömrü en az iki katına çıkacaktır.
- LPG'nin oktan sayısının yüksek olması sıkıştırma oranının yükseltilmesine, dolayısıyla motor veriminin yükseltilebilmesine imkân verir.
- Silindirlere gönderilen yakıt dağılımı daha üniform olacağından silindirler arası güç dengesi karbüratörlü benzinli motorlara nazaran daha iyi olur.
- Egzoz emisyon değerleri benzin ve dizel yakıtına göre daha düşüktür.
- Sistemin bakımı az ve kolaydır.
- Egzoz sistemi ve bujilerin kullanım ömrü uzar.
- Herhangi bir kaza durumunda LPG tankının yangına dayanma süresi 9 dakika iken benzin depolarında bu süre 1,5 dakikaya kadar düşer.
- Atmosfere (ozon tabakasını) benzine göre daha az zarar verir.
- Yakıt ekonomisi sağlar.

➢ **Dezavantajları**

- Yakıt tankı ve diğer elemanlarından dolayı araca ek ağırlık getirir. Yakıt deposu bagaj hacminde daralmaya sebep olur.
- LPG dönüşüm sistemi ek maliyet getirir.
- Motor çıkış gücünde % 2 - % 3'lük bir kayıp oluşabilir.
- Depolanması; sıcaklıkla sıvı basıncındaki değişmelerin yüksek olmasından dolayı çok iyi yapılmalıdır ve hiçbir zaman % 80'den fazla doldurulmamalıdır.
- Birim hacminin enerjisi benzine nazaran daha az olduğundan aynı mesafede hacimce daha fazla LPG tüketilir.

Görüldüğü gibi Otto motorlarında LPG kullanımı avantajlıdır. Şekil 2.3'te benzinli motorlarda kullanılan üçüncü nesil (LPG enjeksiyonu) LPG sisteminin şematik resmi verilmiştir.



Şekil 10.2: Üçüncü nesil LPG sistemi (LPG enjeksiyonu)

10.3. Diğer Yakıtlar

CNG ve LPG'den başka motorlarda yakıt olarak hidrojen, bitkisel yağ esterleri, alkoller, biogaz kullanılmaktadır.

10.3.1. Hidrojen

Doğal gazdan veya kömürden üretilebildiği gibi suyun elektrolizi yolu ile de üretilmesi mümkündür. Oldukça yüksek alev hızı ve tutuşabilirlik özelliğine sahiptir. Son derece fakir karışımlarla çalışmayı sağlaması en büyük avantajlarından biridir. Diğer bir avantajı da yanma sonu ürünlerinin sadece su olmasıdır. Geleceğin yakıtı olmasına kesin bir gözle bakılan hidrojenin depolanması, taşınması ve alevlenmesi dezavantajları olarak görülmektedir. Bu problemler ortadan kaldırıldığında motorlarda kullanımının hızla yaygınlaşacağını düşünebiliriz.

Hidrojenin yakıt pilleri ile hibrit motorlarda kullanımı artmaktadır. Otto motorlarında emme manifolduna verilerek tek yakıtlı veya çift yakıtlı bir sistemde kullanılması mümkündür. Dizel motorlarda emme manifolduna verilerek yine çift yakıtlı veya pilot püskürtme ateşlemeli olarak kullanımı mümkündür. Dünyadaki büyük otomotiv şirketleri hidrojenin araçlarda kullanımı için çok yüksek bütçeli araştırma geliştirme çalışmaları yapmaktadır.

10.3.2. Alkoller

Motorlarda kullanılan alkoller etanol ve metanol'dür. Kullanımı XX. yüzyılın başlarına rastlamaktadır. En yaygın olarak Brezilya'da kullanılmaktadır.

Yakıtın oktan sayısını artırmaları, düşük egzoz emisyon değerleri, yakıt ekonomisinin iyileşmesi gibi faydalarının yanında; yakıt sistemi elemanlarının aşınması, motor veriminin düşmesi, daha büyük depo gereksinimi gibi dezavantajları mevcuttur.

10.3.3. Bitkisel Yağ Esterleri

Motorin ve benzine, bitkilerden elde edilen yağ esterleri katılarak egzoz emisyonları ve yakıt ekonomisi sağlanmaktadır. Ülkemizde de biomotorin, biobenzin gibi uygulamalar başlamıştır. Belirli miktarlarda benzin veya motorine ilave edilen bu esterler, bitkilerden elde edilmelerinden dolayı dışa bağımlılığı olmayan yakıtlardır. Aşağıdaki tablolarda alternatif yakıtlar ile benzin ve motorinin özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir ve bazı gazların termodinamik özellikleri verilmiştir.

Özellikler	Propan	Bütan	Benzin	Doğal Gaz	Metanol	Etanol
Hava/yakıt oranı	15,1/1	15/1	14,6/1	17,2/1	6,5/1	9,0/1
Alt ısıl değer (kJ/kg)	46400	45600	44000	50000	19900	26800
Fiziksel hâl (NŞA)	gaz	gaz	sıvı	gaz	sıvı	Sıvı
Kaynama noktası (^oC)	-42	-0,5	30-225	-162	65	78
Parlama noktası (^oC)	-105	-60	200	540	400	380
Alev sıcaklığı (^oC)	1980	2008	1977	1790	1890	1930
Stokiyometrik karışımı tutuşturma enrjisi (mJ,NŞA)	0,3	0,3	1	0,3	0,2	-
Stokiyometrik karışımın kimyasal enrjisi (kJ/m^3)	3490	3450	3580	3240	3350	3490
Yanma limitleri (%)	2,2-3,2	1,8-9,5	5-16	5-15		
Max. laminer yanma hızı m/sn.	0,4	0,4	0,35	0,37	0,44	-
Motor oktan sayısı	97	92	90	120	103	106

Tablo 10.3: Alternatif yakıtlar ile benzin ve motorinin özellikleri

Gaz	Formülü	Gaz sabiti R kJ/kgK	C_{p0} kJ/kgK	C_{v0} kJ/kgK	k
Hava		0,280	1,005	0,718	1,400
Oksijen	O_2	0,2598	0,918	0,658	1,395
Helyum	He	2,0769	5,1926	3,1156	1,667
Hidrojen	H_2	4,1270	14,307	10,183	1,405
Metan	CH_4	0,5182	2,2537	1,7354	1,299
Etilen	C_2H_4	0,2964	1,5482	1,2518	1,237
Etan	C_2H_6	0,2765	1,7662	1,4897	1,186
Propan	C_3H_8	0,1885	1,6794	1,4909	1,126
Bütan	C_4H_{10}	0,1433	1,7164	1,5734	1,091
Oktan	C_8H_{18}	0,0729	1,7113	1,6385	1,044

Tablo 10.4: Bazı gazların termodinamik özellikleri

UYGULAMA FAALİYETİ

Motorlarda kullanılan diğer yakıtların özelliklerini belirleyiniz.

İşlem Basamakları	Öneriler
➢ Hidrojenin nasıl elde edildiğini tespit ediniz.	➢ Doğal gazın özelliklerini belirleyiniz. ➢ Kömürün gazlaştırılması sonucu hidrojen üretiminin özelliklerini belirleyiniz. ➢ Sudan hidrojen üretiminin özelliklerini belirleyiniz.
➢ Motorlarda egzoz emisyonlarını azaltma yöntemlerini tespit ediniz.	➢ Motorların periyodik bakımlarını zamanında yaptırınız. ➢ Alternatif yakıtlar (LPG,CNG, biodizel gibi) kullanınız. ➢ Gereksiz kullanımlardan kaçınınız.
➢ Biodizelin nasıl elde edildiğini belirleyiniz.	➢ Yapım yöntemlerini belirleyiniz. ➢ Kullanılan bitkisel yağları belirleyiniz. ➢ Karıştırıcı devrini uygun ayarlayınız.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. ( ) Motorlarda benzin ve motorinden başka yakıtların kullanılmasının nedenlerinden biri, sınırlı petrol kaynaklarına alternatif geliştirmektir.

2. ( ) Doğal gaz, Otto motorlarında yüksek oktan sayısından dolayı kullanılmamaktadır.

3. ( ) Buji ile ateşlemeli motorlarda doğal gaz kullanımı, egzoz emisyonlarındaki kirleticileri artırmaktadır.

4. ( ) Doğal gaz tabiatta sıvı hâlde bulunmaktadır.

5. ( ) LPG Otto motorları için iyi bir yakıttır.

6. ( ) LPG motora gaz hâlinde girdiği için volümetrik verimi düşürerek motorun gücünün artmasını sağlar.

7. ( ) Doğal gazın içeriğinin % 90-96'sı metandır.

8. ( ) Alternatif yakıtlar içinde oktan sayısı en yüksek olan yakıt metandır.

9. ( ) Motorlarda yakıt olarak bitkisel yağ esterlerinin kullanılması yakıt ekonomisini kötüleştirmektedir.

10. ( ) Hidrojenin yakıt olarak kullanılabilmesi için depolama, taşıma sorunlarının ortadan kaldırılması gereklidir.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru "Modül Değerlendirme"ye geçiniz.

MODÜL DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. (...) Otto motorları dizel motorlardan daha yüksek termik verime sahiptir.

2. (...) Karma çevrimli motorlarda yakıt olarak benzin ve LPG karışımları kullanılır

3. (...) Gerçek çevrimler için hesaplamalar yapılırken çalışma maddesinin ideal bir gaz olduğu ve sıkıştırma ile genleşmenin adyabatik olduğu kabul edilir.

4. (...) Hidrojen, birim kütlesinin verdiği ısı bakımından diğer yakıtlarda daha yüksek bir değere sahiptir.

5. (...) Benzin ve motorin aynı yapıda, aynı karbon sayısına sahip HC'lere katkı maddeleri ilavesi ile elde edilirler.

6. (...) Alkanlar aromatik HC'lerin alt grubudur.

7. (...) Alkanlar kararsız HC'ler olup H ile reaksiyona girerler.

8. (...) Oktan sayısı yakıtın muhteviyatındaki i-oktan miktarı ile doğru orantılı, heptan ile ters orantılı olarak değişir.

9. (...) Dizel motorlarında kullanılan yakıtların setan sayısının yüksek olması istenmez.

10. (...) LPG hem dizel motorlarda, hem de benzinli motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilir.

11. (...) Karbon ve hidrojen sayıları aynı olmasına rağmen HC'ler, moleküllerinin dizilişlerine göre farklı özellikler sergilemektedirler.

12. (...) Silindirdeki karışımın buji ateşlemeden önce ateşlenmesine erken ateşleme denir.

13. (...) Motorinde setan sayısı artarsa TG süresi artar.

Aşağıdaki problemleri çözünüz.

14. Kritik noktalarda basınç, sıcaklık ve hacimlerini bulunuz.

- Çevrimin verimini ve net işini bulunuz.
- Ortalama efektif basıncını ve 3000 devirde gücünü bulunuz.

c_v=0.718 kJ/kgK c_p=1.005 kJ/kgK R=0.287 kJ/kgK ve k=1.4'tür.

15. Pratik Otto çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı 10/1, emme başlangıcında karışımın sıcaklığı 295 K, basıncı 97 kpa, sıkıştırmanın politropik üssü 1,34, çevrimin maksimum basıncı 5200 kPa, politropik genleşmenin üssü 1,28, egzoz gazları mutlak sıcaklığı 685 K, ve basıncı 101 kPa , artık gazların kütle oranı 0,05 ve sabit hacimde özgül ısısı 0,880 kJ/kgK ve çevrimin politropik üssü 1,3 ise kritik noktalardaki değerleri bulunuz.

16. Teorik dizel çevrime göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı 22/1, püskürtme oranı 1,75 (sabit basınçta genleşme oranı), silindir çapı 90 mm, kursu 95 mm, sıkıştırma başlangıcı sıcaklığı 22 ^{0}C, basıncı 1 bar olduğuna göre,

- Kritik noktalardaki basınç, sıcaklık ve hacim değerlerini buluz.
- Çevrimin verimini bulunuz.
- Net işi ve ortalama efektif basıncı hesaplayınız.

17. Pratik dizel çevrimine göre çalışan bir motorun, sıkıştırma oranı 19/1, emme başlangıcında havanın mutlak sıcaklığı 300 K, basıncı 97 kpa, sıkıştırmanın politropik üssü 1.4, politropik genleşmenin üssü 1.25, egzoz gazlarının mutlak sıcaklığı 725 K, ve basıncı 97 kPa, artık gazların kütle oranı 0,05, sabit basınçta genleşme oranı 2, çevrimin politropik üssü 1,3 ve yanma odası hacmi $0{,}250 \times 10^{-4}$ m^3 ise kritik noktalardaki basınç, sıcaklık ve hacim değerlerini bulunuz.

18. Teorik karma çevrime göre çalışan 4 zamanlı ve 8 silindirli bir motorun silindir çapı 80 mm, kursu 100 mm'dir. Sıkıştırma oranı 20/1 olan motorda sisteme ısı verilmesi işlemi kurs hacminin % 6'sında sona ermektedir. Çevrim başlangıcında havanın mutlak sıcaklığı 305 K, basıncı 100 kPa'dır. Motorun basınç artma oranı 1.5 ise

- Kurs ve yanma odası hacimlerini,
- Sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığını,
- Sabit hacimde yanma sonu basınç ve sıcaklığını,
- Sabit basınçta yanma sonu hacim ve sıcaklığını,
- Püskürtme oranını,
- Genişleme sonu basınç ve sıcaklığını,
- Çevrimin verimini,
- Çevrimin net işini,
- Çevrimin ortalama basıncını,
- Bu çevrime göre çalışan motorun 2400 devirde gücünü hesaplayınız.

c_v=0.718 kJ/kgK c_p=1.005 kJ/kgK R=0.287 kJ/kgK ve k=1.4'tür.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki modüle geçmek için öğretmeninize başvurunuz.

CEVAP ANAHTARLARI

ÖĞRENME FAALİYETİ-1'İN CEVAP ANAHTARLARI

1	**Doğru**
2	**Yanlış**
3	**Yanlış**
4	**Doğru**
5	**Doğru**
6	**Doğru**
7	**Doğru**
8	**Doğru**
9	**Doğru**
10	**Yanlış**

11

Kritik nokta Değerleri	1	2	3	4	
P (kPa)	95	1900,68	5407,43	270,27	
T(^{0}K)	302	710,84	2023	859,46	
V (^{3})	$5,024*10^{-4}$	$0,698*10^{-4}$	$0,698*10^{-4}$	$5,024*10^{-4}$	
η (%)	**V_H (m^3)**	**V_c (m^3)**	**W_{net} (kJ)**	**P_{ort} (kPa)**	**N (kW)**
57	$5,024*10^{-4}$	$0,698*10^{-4}$	0,2984	593,95	34,8

12

Kritik nokta Değerleri	1	2	3	4	5
P (kPa)	100	1228,6	3931,53	320	
T(^{0}K)	308	630,68	2018,18	985,6	
V (^{3})	$1,275*10^{-4}$	$0,255*10^{-4}$	$0,255*10^{-4}$	$1,275*10^{-4}$	
η (%)	**V_H (m^3)**	**V_c (m^3)**	**W_{net} (kJ)**	**P_{ort} (kPa)**	**N (kW)**
51	$1,275*10^{-4}$	$0,255*10^{-4}$	0,0733	575,22	

ÖĞRENME FAALİYETİ-2'NİN CEVAP ANAHTARLARI

1	**Yanlış**
2	**Yanlış**
3	**Doğru**
4	**Yanlış**
5	**Yanlış**
6	**Doğru**
7	**Doğru**
8	**Doğru**

9

Kritik nokta Değerleri	0	1	2	3	4
P kPa	98	98	2047,16	5403	309,69
T ^{0}K	285	308,75	678,8	1791,5	975,51
η %					
51					

10

Kritik nokta Değerleri	0	1	2	3	4
P kPa	100	100	2000,72	4654	313,87
T ^{0}K	305	323	668,65	1555	891
η %					
46,2					

ÖĞRENME FAALİYETİ-3'ÜN CEVAP ANAHTARLARI

1	**Yanlış**
2	**Doğru**
3	**Doğru**
4	**Doğru**
5	**Yanlış**
6	**Yanlış**
7	**Doğru**
8	**Doğru**
9	**Doğru**
10	**Doğru**
11	**Yanlış**

12

Kritik nokta Değerleri	1	2	3	4	5
P kPa	100	4850,3	4850,3	288,6	
T ^{0}K	300	909,42	1818,84	812,22	
V m^3	$9{,}02*10^{-4}$	$0{,}601*10^{-4}$	$1{,}202*10^{-4}$	$9{,}02*10^{-4}$	
η %	**V_H m^3**	**V_c m^3**	**W_{net} kJ**	**P_{ort} kPa**	**N kW**
61	$9{,}02*10^{-4}$	$0{,}6081*10^{-4}$	0,572	634	62,15

13

Kritik nokta Değerleri	1	2	3	4	5
P kPa	100	8556,5	8556,5	241,8	
T ^{0}K	308	1098,08	1976,55	713,5	
V m^3	$4{,}52*10^{-4}$	$0{,}1966*10^{-4}$	$0{,}3538*10^{-4}$	$4{,}52*10^{-4}$	
η %	**V_H m^3**	**V_c m^3**	**W_{net} kJ**	**P_{ort} kPa**	**N kW**
68	$4{,}52*10^{-4}$	$0{,}1966*10^{-4}$	0,302	668,14	

ÖĞRENME FAALİYETİ-4'ÜN CEVAP ANAHTARLARI

1	**Yanlış**
2	**Doğru**
3	**Yanlış**
4	**Yanlış**
5	**Doğru**
6	**Yanlış**
7	**Yanlış**
8	**Doğru**
9	**Yanlış**

10

Kritik nokta Değerleri	0	1	2	3	4
P kPa	98	98	5908,45	5908,45	3143
T ^{0}K	285	308,75	954,6	1909,5	1025,3
V m^3					
η %	**V_H m^3**	**V_c m^3**	**W_{net} kJ**	**P_{ort} kPa**	**N kW**
56,17					

11

Kritik nokta Değerleri	0	1	2	3	4
P kPa	100	100	7575,15	7575,15	377,81
T ^{0}K	305	330,15	1136,79	2216,74	1194
V m^3					
η %	**V_H m^3**	**V_c m^3**	**W_{net} kJ**	**P_{ort} kPa**	**N kW**
49,39					

ÖĞRENME FAALİYETİ-5'İN CEVAP ANAHTARLARI

1	**Yanlış**
2	**Doğru**
3	**Yanlış**
4	**Yanlış**
5	**Yanlış**
6	**Yanlış**
7	**Doğru**
8	**Yanlış**
9	**Doğru**
10	**Yanlış**
11	**Doğru**
12	**Doğru**

13

Kritik nokta Değerleri	0	1	2	3	4	5
P kPa		97	5548,2	8877,14	8877,14	452,1
T ^{0}K		320	1016,85	1626,96	3416,64	1446,7
V m^3		$9,42*10^{-4}$	$0,554*10^{-4}$	$0,554*10^{-4}$	$1,116*10^{-4}$	$9,42*10^{-4}$
η %	**V_H m^3**	**V_c m^3**	**W_{net} kJ**	**P_{ort} kPa**	**N kW**	
63,8	$9,42*10^{-4}$	$0,554*10^{-4}$	1,42	1427,13	113,6	

14

Kritik nokta Değerleri	0	1	2	3	4	5
P kPa		100	7097,5	11356,04	11356,04	364,33
T ^{0}K		300	1013,9	1622,3	2920	1093
V m^3		$4,52*10^{-4}$	$0,226*10^{-4}$	$0,226*10^{-4}$	$0,407*10^{-4}$	$4,52*10^{-4}$
η %	**V_H m^3**	**V_c m^3**	**W_{net} kJ**	**P_{ort} kPa**	**N kW**	
67	$4,52*10^{-4}$	$0,226*10^{-4}$	0,614	1358,4		

ÖĞRENME FAALİYETİ-6'NIN CEVAP ANAHTARLARI

1	**Doğru**
2	**Doğru**
3	**Yanlış**
4	**Doğru**
5	**Yanlış**
6	**Yanlış**
7	**Doğru**
8	**Doğru**

9

Kritik nokta Değerleri	0	1	2	3	4	5
P kPa	98	98	5592	11185,2	11185,2	411,98
T ^{0}K	290	311,75	889,54	1779,08	3024,41	1310,58
V m^3		$4,75*10^{-4}$	$0,25*10^{-4}$	$0,25*10^{-4}$	$0,425*10^{-4}$	$4,75*10^{-4}$
η %	**V_H m^3**	**V_c m^3**	**W_{net} kJ**	**P_{ort} kPa**	**N kW**	
63	4,75*10	0,25*10	0,7533	1448,6	52,7	

10

Kritik nokta Değerleri	0	1	2	3	4	5
P kPa	98	98	4851,14	9217,16	9217,16	375,36
T ^{0}K	280	300,75	827,08	1571,46	2592,9	1151,9
V m^3		$3,4*10^{-4}$	$0,2*10^{-4}$	$0,2*10^{-4}$	$0,33*10^{-4}$	$3,4*10^{-4}$
η %	**V_H m^3**	**V_c m^3**	**W_{net} kJ**	**P_{ort} kPa**	**N kW**	
62	$3,4*10^{-4}$	$0,2*10^{-4}$	0,43	1358,4	43	

ÖĞRENME FAALİYETİ-7'NİN CEVAP ANAHTARLARI

1	**Doğru**
2	**Doğru**
3	**Doğru**
4	**Doğru**
5	**Yanlış**
6	**Doğru**
7	**Yanlış**
8	**Doğru**
9	**Yanlış**
10	**Doğru**
11	**Doğru**
12	**Doğru**
13	**Doğru**
14	**Doğru**

ÖĞRENME FAALİYETİ-8'İN CEVAP ANAHTARLARI

1	**Doğru**
2	**Yanlış**
3	**Doğru**
4	**Doğru**
5	**Yanlış**
6	**Doğru**
7	**Yanlış**
8	**Doğru**
9	**Doğru**
10	**Yanlış**
11	**Yanlış**
12	**Yanlış**
13	**Doğru**
14	**Doğru**

ÖĞRENME FAALİYETİ-9'UN CEVAP ANAHTARLARI

1	**Doğru**
2	**Doğru**
3	**Doğru**
4	**Doğru**
5	**Doğru**
6	**Doğru**
7	**Doğru**
8	**Doğru**
9	**Yanlış**
10	**Doğru**
11	**Yanlış**

ÖĞRENME FAALİYETİ-10'NUN CEVAP ANAHTARLARI

1	**Doğru**
2	**Yanlış**
3	**Yanlış**
4	**Yanlış**
5	**Doğru**
6	**Yanlış**
7	**Doğru**
8	**Doğru**
9	**Yanlış**
10	**Doğru**

MODÜL DEĞERLENDİRMENİN CEVAP ANAHTARI

1	**Yanlış**
2	**Yanlış**
3	**Yanlış**
4	**Doğru**
5	**Yanlış**
6	**Yanlış**
7	**Doğru**
8	**Doğru**
9	**Yanlış**
10	**Doğru**
11	**Doğru**
12	**Doğru**
13	**Yanlış**

14

Kritik nokta Değerleri	0	1	2	3	4	5
P kPa		100	1837,9	4594,8	1250	
T ^{0}K		290	666,24	1665,6	725	
V m^3		$14,6*10^{-4}$	$2,1*10^{-4}$	$2,1*10^{-4}$	$14,6*10^{-4}$	
η %	**V_H m^3**	**V_c m^3**	**W_{net} kJ**	**P_{ort} kPa**	**N kW**	
56,47	$14,6*10^{-4}$	$2,1*10^{-4}$	0,7112	487,12	56,47	

15

Kritik nokta Değerleri	0	1	2	3	4	5
P kPa		97	2436,5	5200	272,89	
T ^{0}K		300,88	658,25	1404,84	737,27	

16

Kritik nokta Değerleri	0	1	2	3	4	5
P kPa		100	7575,16	7575,16	233,42	
T ^{0}K		295	1015,76	1777,58	657,72	
V m^3		$6,04*10^{-4}$	$0,28*10^{-4}$	$0,503*10^{-4}$	$6,04*10^{-4}$	
η %	**V_H m^3**	**V_c m^3**	**W_{net} kJ**	**P_{ort} kPa**	**N kW**	
67	$6,04*10^{-4}$	$0,28*10^{-4}$	0,36	596,98		

17

Kritik nokta Değerleri	0	1	2	3	4	5
P kPa	97	97	5987,5	5987,5	383,9	
T ^{0}K	300	321,25	1043,14	2086,29	1204,5	
V m^3		$4,5*10^{-4}$	$0,25*10^{-4}$	$0,5*10^{-4}$	$4,5*10^{-4}$	

18

Kritik nokta Değerleri	0	1	2	3	4	5
P kPa		100	6628	9943,36	9943,36	461
T ^{0}K		305	1010,9	1516,36	3260,18	1355,9
V m^3		$5,02*10^{-4}$	$0,26*10^{-4}$	$0,26*10^{-4}$	$0,56*10^{-4}$	$5,02*10^{-4}$
η %	**V_H m^3**	**V_c m^3**	**W_{net} kJ**	**P_{ort} kPa**	**N kW**	**r_p**
64,3	$5,02*10^{-4}$	$0,26*10^{-4}$	0,775	1543,8	124	2,15

KAYNAKÇA

- BALCI Mustafa, Ali SÜRMEN, Oğuz BORAT, **İçten Yanmalı Motorlar I,** Teknik Eğitim Vakfı Yayınları-2, Ankara, İstanbul, Bursa, 1995.
- BİLGİNPERK Hüseyin, **Dizel Motorları,** MEB Yayınları, İstanbul, 1990.
- BOLES Michael, A. YUNUS, A. ÇENGEL, **Mühendislik Yaklaşımı ile Termodinamik,** McGraw-Hill, Çevirisi; DERBENTLİ Taner, Literatür Yayınları, İstanbul, 1996.
- ÇETİNKAYA Selim, **Termodinamik Yasalar İşlemler Uygulamalar,** Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 1999.
- DOST Ahmet, **Buji ile Ateşlemeli Bir Motorda Yakıt Olarak Propan ve Farklı Oranlarda Propan/Bütan Kullanımının Motor Performansı ve Emisyonlara Etkilerinin Deneysel Analizi,** Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2004.
- DUMLUPINAR Azmi, **Motorların Alkollerle Çalıştırılması,** İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1984.
- KAYA Orhan, **Motor Ayarları ve Bakımı,** MEB Yayınları, İstanbul, 1995.
- KAYAN Ahmet, **Benzinli Motorlar,** Yüce Yayınları, İstanbul, 2000.
- ÖZDAMAR İbrahim, Bilal YELKEN, **Benzinli Motorlar,** MEB Yayınları, İstanbul, 2003.
- SOYHAN, Hakan Serhat, **Doğal Gaz Motorlarında Yanma Performansı ve Egzoz Gazları Analizi,** İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1995.
- SÜRMEN Ali, M.,İhsan KARAMANLIGİL, Rıdvan ARSLAN, **Motor Termodinamiği,** Aktüel, İstanbul, 2004.